

HELSINGIN KAUPPAKORKEAKOULU

Laskentatoimen laitos



Sotilaslentokoneiden rakenteiden korjausinvestointien
elinkaarilaskenta

HELSINGIN
KAUPPAKORKEAKOULUN
KIRJASTO

9859

Laskentatoimi

Pro Gradu -tutkielma

Jouni Pirtola

Syksy 2005

Laskentatoimen laitoksen laitosneuvoston kokouksessa 4 / 10 2005 hyväksytty

arvosanalla erinomainen, 80 pistettä

KTT Sappo Häkkinen ja KTT Teemu Malmi

SOTILASLENTOKONEIDEN RAKENTEIDEN KORJAUSINVESTOINTIEN ELINKAARILASKENTA

Tavoitteet

Tutkielman tavoitteena on laatia laskentamalli, jolla voidaan arvioida sotilaslentokoneiden rakenteiden korjausinvestointivaihtoehtojen elinkaarikustannuksia. Mallin avulla määritettyjä tuloksia voidaan käyttää apuna päätöksentekoprosessissa valittaessa soveliaain ratkaisuvaihtoehto.

Aineisto

Lähdeaineistona tutkielman teoriaosuudessa käytetään lähinnä elinkaarilaskentaa ja sen soveltamista käsittelevää lähdekirjallisuutta. Empiirisen osuuden aineisto perustuu pääsääntöisesti haastatteluihin, joiden tärkein tavoite oli määrittää eri ratkaisuvaihtoehtoihin liittyvät kustannustekijät sekä arvioida aiheutuvia kustannuksia.

Aineiston käsittely

Tutkielman teoriaosuudessa käydään läpi elinkaarilaskennan pääpiirteet sekä tarkastellaan hie-
man lähemmin menetelmän hyödyntämistä puolustusvälineteollisuudessa ja lentokoneissa. Seuraavassa vaiheessa muodostetaan laskentamalli, jolloin teoriaosuuden tietoja osaltaan tarkennetaan ja osaltaan niihin kytketään tarkasteltavaan sovellutukseen liittyviä näkökantoja. Mekaanisen laskentatyön helpottamiseksi laadittu laskentapohja esitellään lyhyesti ja sen käyttö ohjeistetaan. Laskentamallia ja -pohjaa sovelletaan F-18 Hornet -hävittäjän polttoainesäiliötilojen lattialevyihin mahdollisesti ilmaantuvien väsymissäröjen ratkaisuvaihtojen elinkaarikustannusten vertailuun. Tarkastelussa otetaan huomioon myös eri ratkaisuvaihtoehtojen vaikutus kaluston käytettävyyteen.

Tulokset

Tarkasteltujen ratkaisuvaihtoehtojen perusteella laskentamalli soveltuu hyvin tutkittavaan tarkoitukseen. Tehdyt esimerkkitarkastelut kuitenkin tukivat lähdekirjallisuudessa esiintyneitä epäilyjä siitä, että elinkaarilaskennan käytön yleistymisen esteenä on menetelmän edellyttämä kohtalaisen runsas lähtötietojen määrä sekä joidenkin tietojen määrittämisen vaikeus.

Esimerkkilaskelmassa edullisimmaksi ratkaisuvaihtoehdoksi osoittautui sekä kustannusten että käytettävyyden pienenemisen kannalta Hornetin F-huollossa tehtävä polttoainesäiliötilojen lattialevyjen vaihto samanaikaisesti toisen, yhteisiä purku- ja kasausvaiheita omaavan, rakennekorjauksen kanssa. Esimerkkitapauksen perusteella laskentapohja tekee varsinaisen laskentatyön suhteellisen helpoksi.

Avainsanat

Elinkaarilaskenta, elinkaarikustannus, investointi

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	1
1.1	MOTIVAATIO TUTKIMUKSELLE	1
1.2	TUTKIELMAN TAVOITE JA RAJAUKSET	2
1.3	TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIELMAN RAKENNE.....	3
2	ELINKAARILASKENTA	5
2.1	ELINKAARILASKENTA OSANA YRITYKSEN STRATEGISTA LASKENTATOIMEA	5
2.2	ELINKAARILASKENNAN OMINAISPIIRTEET	6
2.2.1	<i>Yleisesittely</i>	6
2.2.2	<i>Elinkaarikustannusten minimi</i>	8
2.2.3	<i>Sitoutuneiden ja toteutuneiden kustannusten käyttäytyminen elinkaaren aikana</i>	10
2.3	ELINKAARILASKENTA SUHTEESSA PERINTEISIIN INVESTOINTIEN VERTAILUMENETELMIIN	12
2.4	ELINKAARILASKENNAN TOTEUTTAMINEN	12
2.5	ELINKAARILASKENNAN SOVELTAMINEN	15
2.5.1	<i>Kulutus- ja tuotantohyödykkeet.....</i>	15
2.5.2	<i>Puolustusvälinehankinnat.....</i>	15
2.5.3	<i>Lentokoneet.....</i>	17
2.6	ELINKAARILASKENNAN KÄYTÖN LAAJUUS JA ONGELMAT	18
3	ELINKAARILASKENNAN SOVELTAMINEN SOTILASLENTOKONEEN RAKENTEEN KORJAUSINVESTOINTIPÄÄTÖKSEEN.....	22
3.1	RAKENTEEN KORJAUSINVESTOINTI.....	22
3.2	MAKROTASON TEKIJÄT.....	24
3.2.1	<i>Rahan aika-arvo</i>	24
3.2.2	<i>Valuuttakurssit</i>	27
3.2.3	<i>Rahan aika-arvon ja valuuttakurssien yhteys</i>	28
3.3	MIKROTASON TEKIJÄT	29
3.3.1	<i>Ratkaisuvaihtoehtoihin liittyvät kustannustekijät</i>	29
3.3.2	<i>Oppiminen.....</i>	29
3.3.3	<i>Rakenteiden väsyminen.....</i>	30
3.3.4	<i>Kaluston käytettävyys sekä vaadittavat resurssit.....</i>	32
3.3.5	<i>Rahoitus.....</i>	33
3.4	LASKENNAN TOTEUTTAMINEN	33
3.4.1	<i>Elinkaarilaskenta.....</i>	34
3.4.2	<i>Herkkyysanalyysi</i>	34
3.4.3	<i>Apulaskentataulukot.....</i>	36
4	LASKENTAMALLIN SOVELTAMINEN F-18 HORNET -HÄVITTÄJÄN RAKENNEYKSITYISKOHTAAN	38
4.1	YLEISTÄ	38
4.2	F-18 HORNET	38
4.2.1	<i>Konetyypin esittely.....</i>	38
4.2.2	<i>Vaurioituvaksi oletettavan kohdan esittely</i>	39
4.3	RATKAISUVAIHTOEHTO 1: EI TEHDÄ MITÄÄN	39
4.4	RATKAISUVAIHTOEHTO 2: LATTIALEVYJEN VAIHTAMINEN MUIDEN KORJAUSTEN YHTEYDESSÄ.....	40
4.4.1	<i>Ratkaisuvaihtoehdon kuvaus.....</i>	40
4.4.2	<i>Aikataulu ja kustannustekijät.....</i>	41
4.4.3	<i>Elinkaarikustannusten arvioiminen, herkkyyshanalyysi ja käytettävyys.....</i>	42
4.5	RATKAISUVAIHTOEHTO 3: LATTIALEVYJEN VAIHTAMINEN ERILLISTYÖNÄ	45
4.5.1	<i>Ratkaisuvaihtoehdon kuvaus, aikataulu ja kustannustekijät.....</i>	45
4.5.2	<i>Elinkaarikustannusten arvioiminen, herkkyyshanalyysi ja käytettävyys.....</i>	45
4.6	RATKAISUVAIHTOEHTO 4: LENTÄMISEN JATKAMINEN TARKASTUKSIN	46
4.6.1	<i>Ratkaisuvaihtoehdon kuvaus.....</i>	46
4.6.2	<i>Aikataulu ja kustannustekijät.....</i>	46
4.6.3	<i>Elinkaarikustannusten arvioiminen, herkkyyshanalyysi ja käytettävyys.....</i>	47
4.7	TOTEUTETTAVAN RATKAISUVAIHTOEHDON SUOSITTAMINEN.....	49
5	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	51

LÄHTEET	53
----------------------	-----------

LIITTEET

LIITE 1	KUSTANNUSTEKIJÖIHIN JAKAMINEN	56
LIITE 2	ELINKAARIKUSTANNUS-LASKENTAPOHJAN KÄYTTÖOHJEET	57
LIITE 3	F-HUOLLON JA CREASE LONGERON -KORJAUKSEN YHTEYDESSÄ TEHTÄVÄÄN LATTIALEVYJEN VAIHTAMISEEN LIITTYVÄT KUSTANNUKSET	66
LIITE 4	ERILLISEEN LATTIALEVYJEN VAIHTAMISEEN LIITTYVÄT KUSTANNUKSET	71
LIITE 5	LATTIALEVYJEN TARKASTUKSIIN LIITTYVÄT KUSTANNUKSET	73

KUVAT

1	Erilaiset kustannusten määrittävät	7
2	Elinkaarikustannusten minimi Taylorin esitystä mukaillen	9
3	Sitoutuneiden ja toteutuneiden kustannusten, kustannuksiin vaikuttamisen sekä kustannustietoisuuden käyttäytyminen elinkaaren aikana	11
4	Rakenteen korjausinvestointivaihtoehtojen erilaisia vaikutuksia elinkaarikustannuksiin	22
5	Euron arvo Yhdysvaltain dollareina ja Ison-Britannian puntina 31.1.2000 – 30.6.2005	27
6	Ratkaisuvaihtoehdon 2 elinkaarikustannusten vuosittainen jakautuma	43
7	Ratkaisuvaihtoehdon 2 kustannustekijöiden osuudet elinkaarikustannuksesta	43
8	Ratkaisuvaihtoehdon 4 elinkaarikustannusten vuosittainen jakautuma	48
9	Ratkaisuvaihtoehdon 4 kustannustekijöiden osuudet elinkaarikustannuksesta	48
10	Ratkaisuvaihtoehtojen elinkaarikustannusten muodostuminen tarkastelujaksolla	50
11	Kustannustekijöihin jakaminen Fabryckyn ja Blanchardin esitystä mukaillen	56
12	F-huollon yhteydessä tehtävien polttoainesäiliötilojen 2 ja 3 lattialevyjen (Fuel Floor) vaihdon sekä Crease Longeron -korjauksen työtunti- ja läpimenoaika-arviot	68
13	Lattialevyjen vaihtojen keskimääräisten läpimenoaikojen vuosittainen kehittyminen	70
14	Erikseen tehtyjen lattialevyjen vaihtojen läpimenoaikojen vuosittainen kehittyminen	72
15	F-huollon yhteydessä tehtävien polttoainesäiliötilojen 2 ja 3 lattialevyjen (Fuel Floor) NDT-tarkastusten työtunti- ja läpimenoaika-arviot	75
16	Tarkastusten läpimenoaikojen vuosittainen kehittyminen	76

TAULUKOT

1	F-18 Hornetin teknisiä tietoja	38
2	Ratkaisuvaihtoehdon 2 vaikutus kaluston käytettävyyteen	44
3	Ratkaisuvaihtoehdon 3 vaikutus kaluston käytettävyyteen	45
4	Tarkastusten lukumäärän kehittyminen	46
5	Ratkaisuvaihtoehdon 4 vaikutus kaluston käytettävyyteen	49
6	Ratkaisuvaihtoehtojen tulokset koottuna	50
7	Oppimisen kohteena olevien keskimääräisten työtuntien kehitys	69
8	Oppimisen kohteena olevien keskimääräisten työtuntien kehitys	75

1 JOHDANTO

1.1 Motivaatio tutkimukselle

Koneiden ja laitteiden tarkastus-, huolto- sekä korjaustoimenpiteet voidaan jakaa ennakoituihin ja ennakoimattomiin. Ennakoidut toimenpiteet ovat esimerkiksi valmistajan tuotekehitysvaiheessa ohjeistamia tehtäviä, joiden vaikutus elinkaarikustannuksiin on kohtalaisen luotettavasti arvioitavissa jo hankintavaiheessa. Ennakoimattomien toimenpiteiden tarpeellisuus tulee puolestaan ilmi vasta käytön aikana, joten niiden vaikutuksien huomioon ottaminen hankintavaiheessa on huomattavasti vaikeampaa. Osaa näistä kustannuksista voidaan yrittää ennustaa esimerkiksi vastaavista tuotteista aikaisemmin saadun kokemuksen perusteella. Hankintavaiheessa tunnistamattomien toimenpiteiden kustannukset voivat kuitenkin nousta hyvin suuriksi ilman minkäänlaista ennakkotietoa. Näin on erityisesti silloin, kun käytössä on useita samanlaisia koneita tai laitteita, joihin kaikkiin tarvittavat toimenpiteet kohdistuvat.

Lentokoneiden hankintavaiheessa tunnistamattomia rakenteiden tarkastus-, huolto- ja korjaustoimenpiteitä voivat aiheuttaa esimerkiksi käyttöspektrin poikkeaminen suunnitteluspektristä¹ sekä mahdolliset puutteet tai virheet suunnittelussa ja valmistuksessa. Sotilaskoneilla suunnitteluspektri määräytyy tyypillisesti koneen valmistusmaan kaavaillun käytön perusteella, joten ulkomaisten asiakkaiden käyttöspektrit voivat poiketa siitä merkittävästi. Vaikka lentokoneiden suunnittelu ja valmistus ovat korkealla tasolla, tuo kehitys mukanaan uusia ratkaisuja ja toimintatapoja. Tällöin monipuolisista tosituksista huolimatta on olemassa riski, että lopputulos ei ole ennustetun kaltainen.

Suomen ilmavoimien 1980-luvun alussa käyttöönottamissa Hawk-suihkuharjoituskoneissa havaittiin viitteitä ennakoimattomista rakennevaurioista jo ennen vuosikymmenen loppua. Sittenkin ilmaantuneet rakennevauriot eripuolilla konetta uhkasivat lyhentää tyypin elinikää huomattavasti kaavailluista noin 30 vuodesta. Valmistajatehdas BAE Systems tarjosi reilun 50 koneen korjaamista noin kahden miljardin markan hintaan. Ilmavoimat löysi kuitenkin edullisemman vaihtoehdon kotimaisen teollisuuden yhteistyöstä ja sai tehdyksi vaadittavat korjaukset noin 300 miljoonalla markalla. (Raivio 2001, C8)

Sotilaslentokoneilla hyvinkin suuria korjauksia pidetään usein perusteltuina. Yhtenä syynä tähän on koneiden hankintahinta. Vuoden 1994 rahassa mitattuna on Hawkin tasoisen suihkuharjoituskoneen hinta suuruusluokaltaan runsaat 10 miljoonaa USD ja F-18 Hornet -hävittäjän runsaat 20 miljoonaa USD (Whitford 1996, 43). Toisaalta tämäntyyppisten koneiden hankinta on pitkän aika-

¹ Suunnitteluspektri kuvaa, millaisia lentoliikkeitä, millaisissa olosuhteissa ja kuinka usein kyseisellä konetyypillä keskimäärin oletetaan tehtävän. Käyttöspektri puolestaan kuvaa toteutuneen käytön.

välin, tyypillisesti noin 30 vuotta, investointi, jossa ei ole kysymys pelkistä lentokoneista, vaan laajoista koulutus-, ylläpito- ja asejärjestelmistä.

Kuten Hawk-esimerkki osoittaa, hyväksyttävään lopputulokseen johtavien ratkaisujen kustannukset voivat poiketa toisistaan huomattavasti. Eri vaihtoehtojen erot eivät kuitenkaan aina ole yhtä selkeitä kuin tässä esimerkissä. Täten eri ratkaisuvaihtoehtojen erilaisten kustannusvaikutusten arviointi ja vertailu on tärkeää säästöjen mahdollistamiseksi. Valitettavasti ei ole todennäköistä, että ennakkoimattomat korjaustarpeet olisivat loppumassa.

1.2 Tutkielman tavoite ja rajaukset

Tutkielman tavoitteena on laatia laskentamalli, jolla voidaan arvioida sotilaslentokoneiden rakenteiden korjausinvestointivaihtoehtojen elinkaarikustannuksia. Mallin avulla määritettyjä tuloksia voidaan käyttää apuna päätöksentekoprosessissa valittaessa soveliaain ratkaisuvaihtoehto.

Korjausinvestoinnilla tässä työssä ymmärretään investointia, joka on välttämätön lentokonetyypin lentoturvallisuuden ja käytettävyyden varmistamiseksi. Sitä ei pidä sekoittaa korvausinvestointiin, jolloin konetyyppi vaihdetaan uuteen.

Laskentamallin laatimisessa rajoitutaan sellaisiin lentokonetyypille ominaisiin ennakkoimattomiin rakennevaurioihin, jotka ovat ilmenneet tyypin hankinnan jälkeen ja joihin ei siten ole osattu varautua elinkaarikustannuksia alun perin määritettäessä. Tarkastelu tehdään Suomen ilmavoimien sekä sitä tukevan teollisuuden lähtökohdista.

Tutkielmassa ei tarkastella lentokonetyypin kaikkia elinkaarikustannuksia, ainoastaan rakennevaurioiden niihin aiheuttamia muutoksia. Tämän lisäksi tarkastelussa rajoitutaan tapauksiin, joissa tekninen ratkaisu riittävällä todennäköisyydellä palauttaa konetyypin lentoturvallisuuden alkupe-
räiselle tasolle. Täten mallin laadinnassa ei oteta kantaa sellaisiin erittäin vaikeasti rahassa määritettäviin kustannustekijöihin kuten esimerkiksi rakennevauriosta aiheutuvat mahdolliset koneiden tai lentäjien menetykset sekä niiden vaikutus puolustuskykyyn.

Tutkimusten mukaan elinkaarilaskennasta saadaan suurin hyöty, mikäli sen soveltaminen aloitetaan jo esisuunnitteluvaiheessa. Täten laskentamallin tulee olla sellainen, että sitä voidaan helposti käyttää jo korjausinvestointivaihtoehtojen karkeaan vertailuun, jotta edullisimmat vaihtoehdot pystytään tunnistamaan ja epätodennäköisimmät voidaan työmäärän säästämiseksi karsia pois mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.

Elinkaarilaskentamallia arvioidaan tarvittavan kyseiseen tarkoitukseen korkeintaan joitakin kertoja vuodessa. Yleisen kustannustehokkuusajattelun seurauksena ei ole perusteltua olettaa, että menetelmän soveltamiseen voitaisiin käyttää siihen erikoistuneita henkilöitä. Laskentamallia tulevat

täten todennäköisesti käyttämään samat teknillisen koulutuksen saaneet henkilöt, jotka myös suunnittelevat korjausvaihtoehdot. Täten malli ei saa olla liian yksityiskohtainen ja työläs käyttää, sillä se on vain työkalu työkalujen joukossa.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja tutkielman rakenne

Tässä tutkielmassa käytetään konstruktivistista tutkimusta, joka soveltuu konkreettisen ongelman ratkaisuun tieteellisessä kehityksessä ja joka hyödyntää esimerkiksi mallin, kuvion, suunnitelman, organisaation tai koneen rakentamista. Menetelmään kuuluu olennaisena osana ongelman sitominen aiempaan tietämykseen sekä ratkaisun uutuuden ja toimivuuden osoittaminen. (Kasanen ym. 1991, 305)

Konstruktivistista tutkimusta voidaan pitää yhtenä soveltavan tutkimuksen muotona. Täten saatavia tuloksia on ensisijaisesti arvioitava niiden käytännöllisen hyödyllisyyden kannalta, jolloin esille nousevat erityisesti tuloksen relevanssi, yksinkertaisuus ja helppokäyttöisyys. Konstrukttiivinen tutkimus poikkeaa olennaisesti myös soveltavan tutkimuksen piiriin kuuluvasta analyyttisestä mallinrakennuksesta, joka tähtää elegantisti todistettuun ja ainakin periaatteessa soveltamiskelpoiseen ongelmanratkaisuun, mutta jonka käytännön toimivuus jää kuitenkin usein epäselväksi. (Kasanen ym. 1991, 302-304)

Konstrukttiivinen tutkimus sijoittuu liiketaloustieteen metodisessa kentässä normatiiviselle alueelle (mallintava, ohjaileva ja suositteleva) käsittäen sekä teoreettisen että empiirisen elementin. Menetelmälle tunnusomaisia piirteitä ovat:

- Eteneminen askel askeleelta siten, että askelten luonne on määritelty siinä taustajärjestelmässä, jossa menetelmää sovelletaan
- Jokaisen otetun askeleen tarkistettavuus
- Päämäärä, johon askeleet toteuttamalla pyritään. Sikäli kuin päämäärä saavutetaan, tehty konstruktio osoittautuu käyttökelpoiseksi

(Kasanen ym. 1991, 320-323)

Kasanen ym. (1991, 306) jakavat konstruktivisen tutkimuksen toteutuksen seuraaviin vaiheisiin

1. Relevantin ja tutkimuksellisesti mielenkiintoisen ongelman etsiminen
2. Esiymmärryksen hankinta tutkimuskohteesta
3. Innovaatiovaihe, ratkaisumallin konstruointi
4. Ratkaisun toimivuuden testaus
5. Ratkaisussa käytettyjen teoriakytkentöjen näyttäminen ja ratkaisun tieteellisen uutuusarvon osoittaminen
6. Ratkaisun soveltamisalueen laajuuden tarkastelu

Tässä tutkielmassa edetään aina yllä esitetyn jaottelun vaiheeseen neljä asti. Luvussa kaksi perehdytään kirjallisuuskatsauksen avulla elinkaarilaskennan taustoihin, ominaispiirteisiin sekä käyttöön. Tarkastelussa tuodaan myös esille menetelmän hyödyntäminen puolustusvälineteollisuudessa ja lentokoneissa. Kolmannessa luvussa tarkastellaan seikkoja, jotka on otettava huomioon sotilaslentokoneiden korjausinvestointivaihtoehtojen elinkaarilaskennassa. Luvussa kuvataan lyhyesti tekninen ongelmakokonaisuus, käsitellään laskennassa tarvittavia tekijöitä sekä esitellään laskentapohja analyysin toteutuksen helpottamiseksi. Luvussa neljä arvioidaan F-18 Hornet -hävittäjän erään rakenneyksityiskohdan eri korjausinvestointivaihtoehtojen elinkaarikustannuksia käyttäen hyödyksi luvussa kolme tarkasteltuja tekijöitä sekä laskentapohjaa. Vaihtoehtojen vertailun perusteella suositellaan toteutettava ratkaisuvaihtoehto taloudellisten näkökantojen perusteella. Lopuksi luvussa viisi esitetään yhteenveto tutkielmasta sekä tehdyt johtopäätökset.

2 ELINKAARILASKENTA

*Elinkaarilaskenta*² (life cycle costing) on johtamisväline, jonka avulla pyritään resurssien tehokkaaseen allokointiin (Department of Defence 1983, iii). Menetelmä on omana tieteenalanaan peräisin 1960-luvun alusta, jolloin USA:n puolustusministeriö alkoi soveltaa sitä hankintoihinsa. Sitten elinkaarilaskentaa on alettu käyttää myös muun muassa teollisuus- ja kulutushyödykkeisiin. (Sherif & Kolarik 1981, 287) Puolustusministeriön alkuperäisenä tavoitteena oli tehostaa hankintojaan pyrkimällä suunnittelun tavoitekustannusten asettamiseen sekä toimittajien valinnan parantamiseen. 1970-luvun alussa elinkaarilaskenta laajentui myös tuotesuunnittelun ja tuotteen taloudellisuuden määrittämisen yhdistämiseen. (Asiedu & Gu 1998, 890)

2.1 Elinkaarilaskenta osana yrityksen strategista laskentatoimea

Perinteinen johdon laskentatoimi tarkastelee yritystä suljettuna järjestelmänä käyttäen ensisijaisesti kustannustietoa sekä keskittyy lyhyen ja keskipitkän aikavälin horisonttiin ja menneisyyteen. Strategisen suunnittelun tarpeisiin nähden tämä lähestymistapa on kuitenkin liian suppea. Strategia-ajattelussa yritys tulisi nähdä avoimena järjestelmänä ja ulottaa tarkastelu pitkälle tulevaisuuteen. Lisäksi tuottoja, kustannuksia ja kustannusrakenteita pitäisi tarkastella suhteessa markkinoihin ja kilpailijoihin. (Järvenpää 1998, 109-110) Täydentämällä perinteisen laskentatoimen puutteita on päädytty strategiseen johdon laskentatoimeen, johon strategisen johtamisen lisäksi sisältyy voimakas markkina- ja tuotantosuuntaus. Näistä varsinkin tuotantokysymyksiin on kytketty kustannusjohtamiseksi. (Järvenpää 1998, 103-104)

Kustannusjohtaminen (cost management) pyrkii kustannusten vähentämiseen. Se ei ole jatkuva prosessi, vaan sitä käytetään tilanteissa, joissa on havaittu säästömahdollisuuksia. Kustannusjohtaminen ei perustu yksipuolisesti kirjanpitoaineistoon, vaan se voi käyttää myös muita mahdollisia keinoja kuten prosessien kehittämistä. Merkittävää on, että vaikka tavoitteena on kustannusten vähentäminen, ei asiakastyytyväisyys saa kuitenkaan kärsiä. Ihannetapauksessa voidaan kustannuksia laskea ja samalla parantaa asiakastyytyväisyyttä. (Drury 2000, 889)

Kustannusjohtamisessa käytetään erilaisia menetelmiä, kuten esimerkiksi elinkaarilaskentaa, tavoitekustannuslaskentaa ja toimintolaskentaa.

² Tarkka käännös life cycle costing -käsitteelle on elinkaarikustannuslaskenta. Tässä työssä käytettävällä käännöksellä halutaan kuitenkin korostaa sitä, että yleisessä tapauksessa myös elinkaarenaikaiset tuotot vaikuttavat valittavaan ratkaisuun, eivät ainoastaan kustannukset (katso luku 2.2.1). Elinkaarilaskenta -sanaa on tässä työssä käytetty joissain yksittäistapauksissa käännöksenä myös life cycle cost -käsitteelle. Tämä johtuu siitä, että kyseisissä kohdissa on lähdemateriaalin sanavalinnasta huolimatta tulkittu tarkoitettua life cycle costing -käsitettä.

2.2 Elinkaarilaskennan ominaispiirteet

2.2.1 Yleisesittely

Tuotteita hankittaessa suhteutetaan niistä saatavissa oleva hyöty varsin yleisesti ainoastaan hankintahintaan, joka saattaa kuitenkin olla suhteellisen pieni osa tuotteeseen sen eliniän aikana kuluviista kokonaiskustannuksista. Mikäli tavoitteena on koko eliniän kustannusminimi, täytyy tarkasteluun ottaa hankintahinnan lisäksi kaikki muutkin elinkaaren aikana aiheutuvat kustannukset eli tarkastella *elinkaarikustannuksia* (life cycle costs).

Yrityksissä on puolestaan perinteisesti keskitytty tarkastelemaan tuotteen kustannuksina ensisijaisesti tuotannosta aiheutuvia kustannuksia, sillä esimerkiksi tutkimus-, tuotekehitys-, suunnittelu- sekä tuotannon lopettamiskustannukset käsitellään yleensä kunkin tilikauden kuluna. Kausiluonteinen raportointi on osaltaan myös muuten vaikeuttanut pitkän aikavälin seuranta. Mikäli kaikki tuotteeseen sen elinkaaren aikana kohdistuvat kustannukset ja siitä saadut tuotot eivät ole tiedossa, ei voida tietää tuotteen todellista kannattavuutta. (Drury 2000, 890) Valmistajan näkökulmasta elinkaarikustannusten arvioinnin tulisi pitää sisällään myös niiden analysointi asiakkaan kannalta, jotta tiedetään, kuinka paljon kustannuksia ja hyötyä tuotteesta tulee asiakkaalle elinkaaren aikana koitumaan (Järvenpää 1998, 177).

Elinkaarilaskenta on analysointimenetelmä, joka kattaa kaikki tuotteeseen liittyvät kustannukset elinkaaren alusta aina sen poistamiseen käytöstä. Kustannuksiin vaikuttavat esimerkiksi käytöympäristö, käyttömäärä, luotettavuus, huollettavuus, työvoiman tarve, energiankulutus, verotus, inflaatio jne. Menetelmän avulla pyritään minimoimaan kokonaiskustannukset, jotka aiheutuvat halutun toimintotason saavuttamisesta. (Sherif & Kolarik 1981, 287) Elinkaarilaskentaa käyttämällä yritykset voivat saada selville, kattavatko tuotannosta saatavat tuotot myös tuotannon aloitus- ja lopetuskustannukset, sekä parantaa käsitystään tuotteen kustannusten muodostumisesta ja potentiaalisista säästökohteista. (Drury 2000, 890)

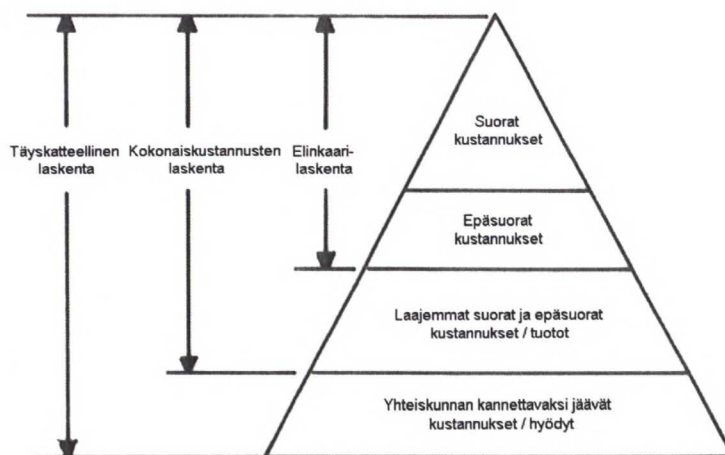
Elinkaarilaskentaa käsittelevässä kirjallisuudessa todetaan varsin usein yksipuolisesti, että tarkastelussa pitää ottaa huomioon kaikki tuotteeseen sen elinkaaren aikana liittyvät kustannukset sekä pyrkiä minimoimaan ne. Tiukasti tulkittuna tämä on vajavainen määrittely, sillä se jättää pois tuotteesta saatavan hyödyn. Kustannusten minimi lähestyy periaatteessa nollaa, mikäli ei aseteta reunaehdoja, joilla määritellään edellä mainittu haluttu toimintotaso.

Erityisesti laajoissa hankkeissa toimintotaso saattaa muodostua useista reunaehdoista, jotka toteuttavat ratkaisut eivät yleensä ole keskenään suoraan vertailukelpoisia. Tällöin elinkaarikustannuksiltaan halvin toimintotason täyttävä ratkaisu ei välttämättä ole edullisin, mikäli sen ylittävistä ominaisuuksista voidaan saada riittävä hyöty. Erityisesti voittoa tavoittelevassa toiminnassa voidaan toimintotaso pitää ratkaisuvaihtoehtoa etsittäessä muuttujana, sillä tavoitteena on tuottojen

ja kustannusten erotuksen maksimoiminen; lopulliset nettotuotot määrittävät todellisen kannattavuuden ja siten niiden pitäisi määrittää suositeltava toteutusvaihtoehto. Tällaisessa toiminnassa myös eri asiakasryhmien haluamat toimintotasot yleensä poikkeavat toisistaan, vaadittava toimintotaso saattaa muuttua asiakasryhmän sisällä ja tuotteen tai palvelun tuottaja haluaa yleensä erottua kilpailijoista. Mikäli saatavat hyödyt eivät ole ilmaistavissa rahana, on halutun toimintotason käyttö yksiselitteisempää. Näin on esimerkiksi erilaisissa julkisissa palveluissa.

Määritelmien sisältämä kaikkien elinkaarenaikaisten kustannusten huomioonottaminen on katkava, joskaan ei käytännöllinen vaatimus. Esimerkiksi Cole ja Sterner (2000, 369) korostavat kaikkien merkittävien kustannusten ja tuottojen huomioonottamista. Näin vähennetään käytännön laskentatyömäärää vaikuttamatta kuitenkaan merkittävästi lopputulokseen.

Kaikista kustannuksista puhuttaessa on myös syytä tiedostaa, että hankkeisiin liittyvät taloudelliset vaikutukset saattavat olla hyvin eriluonteisia, joten niiden nimeäminen ja määrittäminen ei aina ole yksiselitteistä. Brittiläisen Kolumbian Ympäristön, maan ja puistojen ministeriö (1997; ks. Sterner 2002, 24-25) on esittänyt jaottelun, jonka mukaan kaikkien kustannusten määrittäminen edellyttää täyskattteellista laskentaa (full cost accounting), johon sisältyvät kokonaiskustannusten laskenta (total cost accounting) sekä elinkaarilaskenta kuvassa 1 esitetyllä tavalla. Elinkaarilaskenta ottaa huomioon hankkeen varsinaiset hankinta- ja käyttökustannukset. Kokonaiskustannusten laskenta laajentaa tarkastelua tekijöihin, jotka liittyvät välillisesti varsinaisiin hankinta- ja käyttökustannuksiin. Rajanveto näiden tekijöiden välillä lienee hyvin tapauskohtaista. Sterner mainitsee rakennuksiin liittyen esimerkkinä kokonaiskustannusten laskennan tuomasta laajennuksesta tarkasteltavassa rakennuksessa työskentelevien henkilöiden palkat sekä tuottavuuden muutoksen. Laajimmillaan kustannusten määrittämiseen sisältyvät myös yhteiskunnan vastuulle jäävät tekijät, jotka täytyy ottaa huomioon erityisesti julkisissa hankinnoissa. Näistä Sterner mainitsee esimerkkinä tiehankkeet.



Kuva 1. Erilaiset kustannusten määrittystavat (BC MELP 1997; ks. Sterner 2002, 24).

Tarkastelutapauksesta riippuen tuotteen elinkaari voi olla hyvin erimittainen, se voidaan ymmärtää erilailla ja siten se voi pitää sisällään erilaisia toimintoja. Laajimmillaan elinkaari käsittää tuotteen liittyvän tutkimus- ja kehitystyön, suunnittelun, valmistuksen, käyttöönoton, käytön, ylläpidon sekä käytöstä poistamisen. Tällainen tilanne on usein esimerkiksi erilaisten sotilastarvikkeiden kohdalla. Tuotanto- ja kulutushyödykkeillä on puolestaan kohtalaisen yleistä, että sama hyödyke on elinkaarensa aikana usealla omistajalla. Tällöin kullekin heistä tuotteen elinkaari on ainoastaan oston ja tuotteesta luopumisen välinen aika. (Sherif & Kolarik 1981, 287)

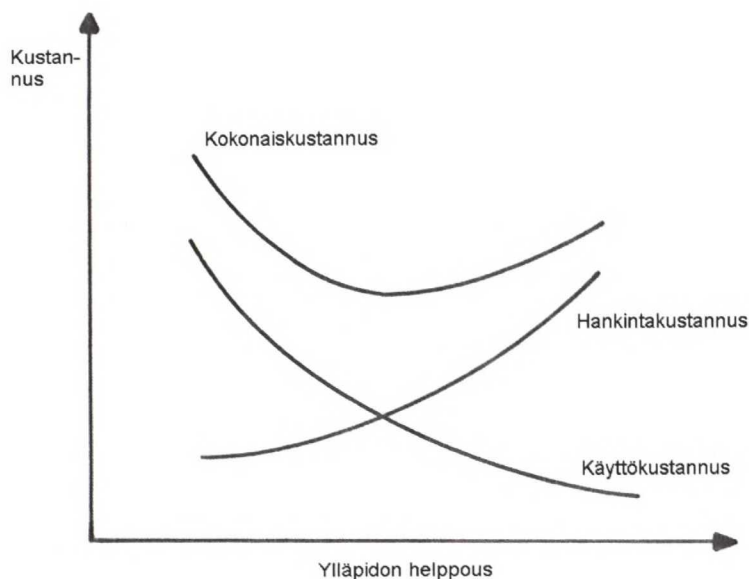
Elinkaarilaskentaa käytettäessä on syytä tiedostaa, että yksittäisessä tapauksessa tarkan elinkaarikustannuksen määrittäminen on vaikeaa ja että laskelmista saatava arvo on piste-estimaatti, joka kuvaa tarkasteltavien tuotteiden ja tapausten keskiarvoa. Erityisesti laitteiden kestävyyttä ja huoltokustannuksia voi olla vaikea arvioida. (Hutton & Wilkie 1980, 351)

2.2.2 Elinkaarikustannusten minimi

Tuotteen elinkaarikustannukset voidaan jakaa hankinta- ja käyttökustannuksiin, joiden välillä on tavallisesti riippuvuus. Mahdollisen riippuvuuden voimakkuus on tapauskohtainen.

Kuvassa 2 on havainnollistettu yksinkertaisella esimerkillä tuotteen hankinta- ja käyttökustannusten käyttäytymistä lähtien tavanomaisesta oletuksesta, että hankintahinnan nousu vähentää käyttökustannuksia. Oletus on perusteltavissa muun muassa sillä, että esimerkiksi perusteellisempi suunnittelu tai laadukkaammat materiaalit yleensä pienentävät tarvittavaa ylläpitoa. Elinkaarikustannusten minimi saavutetaan tapauskohtaisella hankinta- ja käyttökustannusten kombinaatiolla, joka tavallisesti poikkeaa hankinta- ja käyttökustannusten ääripisteistä. Tämä optimiratkaisu ei yleensä ole kovin herkkä pienille hankinta- ja käyttökustannusten muutoksille (Woodward 1997, 340). Edellä kuvattu kustannuskäyttäytyminen vastaa kansanviisautena yleisesti tunnettua to- tuutta, jonka mukaan köyhällä ei ole varaa ostaa halpaa.

Vaikka kuva 2 on yksinkertaistus käytännössä esiintyvistä hankinta- ja käyttökustannusten riippuvuuksista, kuvaa se hyvin elinkaarikustannusten minimin muodostumista. Käytännössä vastaavien riippuvuuksien määrittäminen on kuitenkin vaikeaa. Esimerkiksi tuotekehityksen tuloksena laatu ja hinta muuttuvat usein hyppäyksittäin siirryttäessä käyttämään vaikkapa parempia raaka-aineita. Toisaalta ostajan valitessa tuotetta on hänellä yleensä tiedossa ainoastaan hankintahinta, mutta ei luotettavaa tietoa tuotteen laadusta, sillä hinnan ja laadun välillä ei välttämättä aina ole selkeää korrelaatiota. Esimerkiksi brändi-tuotteisiin liitetään erilaisia mielikuvia, joiden perusteella osa kuluttajista on valmiita maksamaan niistä muita vastaavia tuotteita korkeamman hinnan ilman, että tuotteen laatu paranee. Kokonaiskustannusten tyypillisen käyttäytymisen seurauksena keskihintaisen tuotteen valitseminen lienee luonnollinen päätös, mikäli yksityiskohtaista tietoa tuotteen laadusta ei ole käytettävissä.



Kuva 2. Elinkaarikustannusten minimi Taylorin (1981, 38) esitystä mukaillen.

Elinkaarikustannusten minimiä etsittäessä voidaan tarkastella hyvin monenlaisia kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä. Tyypillisiä tarkasteltavia kokonaisuuksia ovat muun muassa luotettavuus, huollettavuus ja käytettävyys.

Luotettavuus määritellään todennäköisyydeksi, että järjestelmä tai tuote toimii riittävän hyvin annetun ajanjakson, kun sitä käytetään sallitulla tavalla sallituissa olosuhteissa. Käytettäessä vikaantumiseen kuluvan ajan kuvaamiseen eksponentiaalista tiheysfunktioita, voidaan luotettavuus tietyllä ajanhetkellä esittää kaavalla (Blanchard 1992, 27-28)

$$R(t) = e^{-t / MTBF} = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

jossa $R(t)$ = luotettavuus ajanhetkellä t

$MTBF$ (Mean Time Between Failures) = keskimääräinen vikaantumisväli

$\lambda = 1 / MTBF$ = vikataajuus

Kaava 1 pätee vikataajuuden ollessa ajan suhteen vakio, mikä ei kuitenkaan aina toteudu. On esimerkiksi mahdollista, että vikataajuus on vakio vain jollain aikavälillä.

Huollettavuus tarkastelee huoltotoimenpiteiden helppoutta, oikeellisuutta, turvallisuutta ja taloudellisuutta (Blanchard 1992, 37). Järjestelmän ja sen komponenttien luotettavuus heijastuu osittain suoraan ja osittain välillisesti huolloista aiheutuviin elinkaarikustannuksiin.

Käytettävyys voidaan määritellä monin eri tavoin, mutta yleisesti ottaen sillä tarkoitetaan astetta tai todennäköisyyttä, jolla järjestelmä on valmis tai käytettävissä tarvittaessa. Esimerkiksi operatiivinen käytettävyys tarkoittaa todennäköisyyttä, jolla järjestelmä tai laite toimii määritellyllä tavalla

käytettäessä sitä sallituissa olosuhteissa todellisessa operatiivisessa ympäristössä. Se voidaan laskea kaavasta (Blanchard 1992, 69-70)

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad (2)$$

jossa A_o = operatiivinen käytettävyys

$MTBM$ (Mean Time Between Maintenance) = keskimääräinen huoltoväli käsitteäen sekä ennakoitua että ennakoimattomia huoltotoimenpiteitä

MDT (Maintenance Down Time) = huolloista aiheutuva seisonta-aika käsitteäen varsinaisen huoltoajan sekä logistiikasta ja hallinnosta aiheutuvat viiveet

Luotettavuus ja huollettavuus vaikuttavat molemmat käytettävyyteen. Käytettävyyden suora vaikutus elinkaarikustannuksiin voi puolestaan ilmetä esimerkiksi siten, että käytettävyyden laskiessa voidaan tarkasteltavaa tuotetta joutua hankkimaan lukumäärällisesti enemmän, jotta vaadittava toimintotaso saavutetaan.

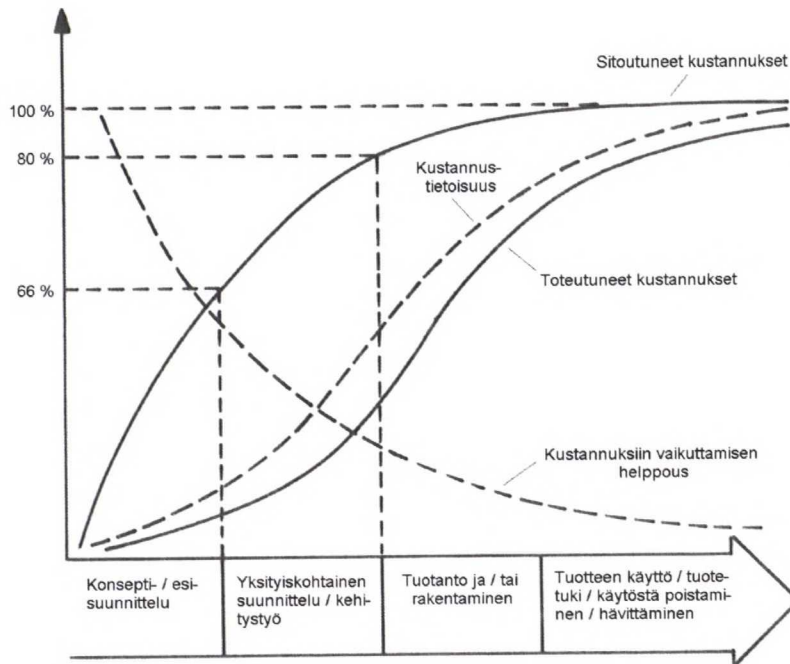
Vaikka vaadittava tieto hankinta- ja käyttökustannusten sekä niihin vaikuttavien tekijöiden käyttäytymisestä olisi käytettävissä, ei elinkaarikustannusten minimiä kuitenkaan välttämättä aina voida hyödyntää. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että hankintahetkellä käytettävissä oleva rahoitus ei riitä elinkaarikustannusten minimin toteuttavaan ratkaisuun.

2.2.3 Sitoutuneiden ja toteutuneiden kustannusten käyttäytyminen elinkaaren aikana

Kuvassa 3 on esitetty tyypillinen kustannusten sitoutuminen ja toteutuminen³ sekä kustannustietoisuus ja kustannuksiin vaikuttamisen helppous elinkaaren aikana. Elinkaarikustannusten muodostumisen kannalta merkittävää on sitoutuneiden ja toteutuneiden kustannusten erilainen käyttäytyminen projektin edetessä. Esimerkissä jopa 2/3 elinkaarikustannuksista on sitoutunut esisuunnittelun päättyessä. Tuotannon alkaessa määrä on jo 4/5, mutta toteutuneita kustannuksia on tähän mennessä vain noin 1/3 lopullisista. Ongelman aiheuttaa se, että kustannustietoisuus lisääntyy suhteessa toteutuneisiin kustannuksiin. Elinkaarilaskennan tavoitteena on tämän luontaisen, lähinnä kassavirtoihin perustuvan, kustannustietoisuuden aikaistaminen ja monipuolistaminen, jotta kustannuksiin vaikuttamiselle saadaan paremmat edellytykset sekä päätöksenteolle parempi perusta.

³ Sitoutunut kustannus on kustannus, joka tehdyn valinnan, päätöksen tai muun vastaavan toimenpiteen perusteella tulee toteutumaan tulevaisuudessa. Toteutunut kustannus on kustannus, joka on jo aiheuttanut kassavirtataphtuman.

Kuva 3 havainnollistaa useista tuotteista saatua kokemusperäistä havaintoa, että vaikka suuri osa kustannuksista aiheutuu käytöstä ja ylläpidosta, ovat ne kuitenkin sitoutuneet jo suunnittelun alkuvaiheissa. Esimerkiksi tuotannon alkaessa vaikutusmahdollisuudet tuleviin kustannuksiin ovat enää varsin vähäiset. Täten suurimman hyödyn saavuttamiseksi tulisi elinkaarilaskentaa soveltaa jo esisuunnittelun aikana, sillä löytyy lukuisia esimerkkejä tuotteista, jotka ovat teknisesti erinomaisia mutta taloudellisessa mielessä epäonnistuneita. (Fabrycky & Blanchard 1991, 12-13)



Kuva 3. Sitoutuneiden ja toteutuneiden kustannusten, kustannuksiin vaikuttamisen sekä kustannustietoisuuden käyttäytyminen elinkaaren aikana (Fabrycky & Blanchard 1991, 13).

Ilmailussa kärjistetyin esimerkki lienee ylläanimatkustajakone Concorde, joka pystyi kuljettamaan enimmillään 128 matkustajaa yli kaksinkertaisella äänennopeudella. Täten se oli noin kaksi kertaa nopeampi kuin matkustajakoneet yleensä ja selvästi nopeampi kuin monet hävittäjät. Tyypin poistuttua käytöstä vajaan 28 palvelusvuoden jälkeen vuonna 2003 ei muiden edes yksinkertaiseen äänennopeuteen yltävien matkustajakoneiden suunnittelusta ja käyttöönotosta ollut varteentotettavia suunnitelmia. Concorden teknistä edistyneisyyttä ei siten ole kyseenalaistettu. Konetta valmistettiin kuitenkin vain 20 kappaletta. Näistä kuusi oli eritasoisia prototyyppiejä, joita ei koskaan myyty, yhdeksän myytiin suurin piirtein käypään hintaan ja loput viisi myytiin konetta käyttäville lentoyhtiöille nimellistä 1 GBP tai 1 FRF:n korvausta vastaan (Francillon 2003, 38). Vaikka Concorden kaikki hyödyt eivät ole laskettavissa rahassa ja vaikka sen kohtaloon vaikuttivat muun muassa energiakriisi, poliittiset kysymykset ja erilaiset ympäristövaatimukset, on hankkeen mielekkyyttä, tehtyjä päätöksiä sekä niiden perusteita, erityisesti näin jälkiviisaasti elinkaarilaskennan lähtökohdista katsottuna, vaikea ymmärtää.

2.3 Elinkaarilaskenta suhteessa perinteisiin investointien vertailumenetelmiin

Tilanteissa, joissa ainakin merkittävä osa harkittavan investoinnin oletetuista hyödyistä ja haitoista voidaan ilmaista rahana, voi tarkastelija päätöstään helpottaakseen valita useamman analysointimenetelmän välillä. Yleisesti käytössä ovat esimerkiksi nykyarvo-, annuiteetti-, sisäisen korkokannan, investoinnin tuotto prosentti- sekä takaisinmaksuajan menetelmä.

Mikäli yksityishenkilö ostaa omaan käyttöönsä esimerkiksi auton tai valtio investoi ympäristönsuojeluun tai maanpuolustukseen, ei odotettavissa olevia hyötyjä voida yksiselitteisesti ilmaista rahassa, jolloin edellä mainittujen menetelmien käyttö vaikeutuu. Tapauksissa, joissa hyödyt oletetaan rahassa mitattuna nollassi, tullaan puolestaan useimmissa menetelmissä raja-alueelle, jolloin perusoletukset eivät enää päde tai matemaattinen malli ei enää toimi. Nykyarvomenetelmää rajoittavat vähiten tulojen pieneneminen tai meneminen nolnaan.

Nykyarvomenetelmässä kaikki investoinnista kertyvät tuotot ja syntyvät kustannukset diskontataan nykyhetkeen laskentakorkoa käyttäen. Investointi on kannattava, jos nykyarvo on positiivinen. (Riistama & Jyrkkio 1999, 318) Mikäli investoinnista ei ole rahassa ilmaistavia tuottoja, diskontataan vain syntyvät kustannukset nykyhetkeen. Elinkaarilaskennassa toimitaan samoin, joten se vastaa matemaattisena mallina nykyarvomenetelmää. Elinkaarilaskennan ei täten voida katsoa tarjoavan teoreettisessa mielessä mitään varsinaista uutta. Sen arvo perustuu lähinnä tuotteen koko elinkaarenaikaisten kustannusten huomioon ottamisen korostamiseen ja siten elinkaaren aikaisen kustannustietoisuuden lisäämiseen.

2.4 Elinkaarilaskennan toteuttaminen

Yleispätevää elinkaarilaskentamallia ei ole, vaan laskenta tehdään yleensä käyttäjien tavoitteiden ja resurssien mukaan. Useimmat mallit eivät ole erityisen formaaleja tai matemaattisia ja niiden käyttämät arviointimenetelmät voivat vaihdella valistuneista arvauksista edistyksellisiin matemaattisiin menetelmiin. Monissa tapauksissa mallit auttavat kuitenkin asian hahmottamista. (Sherif & Kolarik 1981, 288-289)

Fabrycky ja Blanchard (1991, 327-331) esittävät elinkaarilaskennan päävaiheiksi:

1. Ongelman määrittely

Ongelma on määriteltävä siten, että laskennan tavoitteet ovat selkeät, ja se on rajattava siten, että ratkaisu on saatavissa käytettävissä olevien taloudellisten ja ajallisten reunaehtojen puitteissa. Tarkan ja selkeän määrittelyn lisäksi ongelma on esitettävä kaikille osapuolille helposti ymmärrettävissä olevalla tavalla. (mt. 131)

2. Mahdollisten ratkaisuvaihtoehtojen kartoittaminen

Kaikkia mahdollisia ratkaisuvaihtoehtoja pitäisi harkita, joskaan jokainen niistä ei välttämättä ole saavutettavissa oleva. Potentiaalisimmat vaihtoehdot otetaan tarkempaan tarkasteluun. (mt. 132) Ratkaisuvaihtoehtoihin liittyviä toimintoja täytyy tarkastella koko elinkaarenaikaisina kokonaisuuksina, jotka vaikuttavat usein toisiinsa. Tämä edellyttää muun muassa järjestelmän toimintavaatimuksien ja huolto-ohjelman määrittämistä.

3. Kustannusten jakaminen kustannustekijöihin

Kuhunkin ratkaisuvaihtoehtoon liittyvien kustannusten keräämiseksi sekä allokoimiseksi on laadittava *jaottelu kustannustekijöihin* (cost breakdown structure), jonka on oltava sekä toimintojen että kustannusten suhteen kattava. Mukaan otettavien toimintojen vaiheiden jaotteen yksityiskohtaisuus riippuu siitä, mille tasolle asti kustannusnäkyvyys halutaan. Kustannukset on esitettävä toiminnalliselta pohjalta lähtien. Liitteessä 1 on esimerkki kokonaiskustannuksen jakamisesta kustannustekijöihin. Se on varsin kattava muistilista menetelmän käyttäjälle siitä, millaisia kustannustekijöitä hankkeisiin voi liittyä.

4. Kustannusmallin valitseminen

Kustannustekijöihin jaottelu voi sisältää hyvin eriluonteisia tekijöitä ja riippuvuuksia. Laskelmia varten näiden kuvaamiseksi on valittava sopivat analyyttiset menetelmät sekä mallit, jotka voivat tarpeen mukaan vaihdella yksinkertaisista hyvin monimutkaisiin.

5. Kustannusten arvioiminen

Kustannusten arvioimiseen voidaan käyttää muun muassa seuraavia menetelmiä sekä niiden yhdistelmiä (mt. 145-147)

- Teknisen lähestymistavan menetelmä, jossa suunnitelma jaetaan pieniin osiin, joiden kustannukset (työ, välineet, materiaalit jne.) lasketaan yhteen. Osaa kustannuksista voidaan arvioida myös prosentiosuuksina muista arvoista; esimerkiksi tarkastuskustannuksia prosentteina työtunneista. Menetelmä ei ole yksinkertaisuudestaan huolimatta virheetön, sillä kokonaiskustannukset ovat usein osoittautuneet erisuuriksi kuin osien summa.
- Analoginen menetelmä, jossa arviointi perustuu samankaltaisuuteen aikaisemman toiminnan sekä siitä aiheutuneiden kustannusten kanssa. Menetelmän käyttäminen vaatii kokemusta ja asiantuntemusta, mutta sen kustannukset ovat yleensä alhaiset. (mt. 146)
- Parametrinen menetelmä, jossa kustannukset ilmoitetaan funktiona niihin vaikuttavista tekijöistä. Yksinkertaisimmillaan riippuvuudet voivat olla esimerkiksi EUR/kg, EUR/m² jne.

Arvioita tehtäessä otetaan huomioon myös inflaatio, oppiminen sekä muut vastaavat tekijät.

6. Kustannusprofiilien määrittäminen

Tulevien vuosien kustannuksia arvioitaessa määritetään eri vaihtoehdoille kustannusprofiilit. Käyttötarkoituksesta riippuen tyypillisiä esitystapoja ovat esimerkiksi

- Rahan aika-arvon huomioon ottavat diskontatut profiilit vertailtaessa eri vaihtoehtoja.
- Reaaliseen rahanarvoon perustuva budjetointiprofiili tarkasteltaessa yksittäistä vaihtoehtoa eri vuosina.
- Budjetointiprofiili, jossa otetaan huomioon inflaatio, oppiminen ja muut vastaavat tekijät, määriteltäessä yksittäiseen vaihtoehtoon mahdollisesti liittyviä resurssi- tai budjettirajoitteita.

7. Ratkaisuvaihtoehtojen kannattavuuksien analysointi

Tehtävän ratkaisun ei tule perustua ainoastaan kustannusprofiileihin ja kokonaiskustannusten eroon, vaan myös niihin tekijöihin ja ajankohtiin, jolloin eri vaihtoehtojen edullisuusjärjestys muuttuu. Täten laskennan osana on suositeltavaa tehdä kannattavuuksien analysointi (break-even analysis), jotta saadaan selville, milloin ja miksi kukin vaihtoehto on edullisin.

8. Merkittävien kustannustekijöiden tunnistaminen

Elinkaarikustannusten pienentämiseksi merkittävät kustannustekijät on tunnistettava, etsittävä niihin vaikuttavat seikat sekä annettava suosituksia korjaaviksi toimenpiteiksi.

9. Herkkyysanalyysi

Mikäli merkittäviin kustannustekijöihin vaikuttavia lähtötietoja ei pidetä luotettavina, kannattaa niiden vaikutusta tulokseen tutkia herkkyysanalyysin avulla. Herkkyysanalyysillä saadaan vastaus useimpiin "mitä jos" -kysymyksiin.

10. Riskianalyysi

Merkittävät kustannustekijät, joiden lähtötietoihin liittyy epävarmuutta, aiheuttavat riskiä. Mikäli tätä riskiä ei voida ottaa, täytyy prosessissa palata takaisin kohtiin 2-5 hyväksyttävissä olevan ratkaisuvaihtoehdon määrittämiseksi. Mikäli riski voidaan ottaa, pystytään sen mahdollisiin seurauksiin vaikuttamaan erilaisilla riskinhallintakeinoilla.

11. Valittavan ratkaisuvaihtoehdon suositteleminen

Elinkaarilaskennan suhteen relevantteja kustannuksia ovat lähtökohtaisesti kaikki hankkeeseen liittyvät tulevaisuuden kustannukset riippumatta siitä, voidaanko niihin vaikuttaa. Uponneet kustannukset eli kustannukset, joihin on sitouduttu jo ennen elinkaarilaskennan tekemistä, eivät yleensä ole relevantteja päätöksen suhteen. Kuitenkin tilanteissa, joissa suunnitellaan käytettävän sellaisia olemassa olevia resursseja, joilla olisi myös vaihtoehtoista käyttöä, jotka on tarkoitettu myytäväksi tai joiden käytöstä aiheutuu ylimääräisiä kustannuksia, täytyy ne sisällyttää laskelmiin käyvästä arvostaan. Vertailtaessa eri ratkaisujen edullisemmuusjärjestystä, voidaan kustannukset, jotka ovat kaikille vaihtoehdoille suurin piirtein samat, jättää irrelevantteina pois tarkastelusta. (Department of Defence 1983, 26-28)

Elinkaarilaskenta edellyttää runsaasti erilaisia lähtötietoja, joiden oikeellisuus vaikuttaa suoraan laskennan tuloksen laatuun. Osa tästä tiedosta voi olla luonteeltaan sellaista, että se vaatii pitempiaikaista omaa tiedon keräämistä, jotta saadaan esimerkiksi tarkasteltavaan organisaatioon soveltuvat lähtötiedot tyypillisten arvojen asemesta. Tiedon keräämistä ja ylläpitämistä voidaan siten pitää elinkaarilaskentaan kiinteästi kuuluvana toimintona. Osaltaan kerätyn tiedon sekä laskentamallin verifioimiseen ja osaltaan yleiseen seurantaan liittyen Fabryckyn ja Blanchardin esittämään listaan liitetään usein myös seurantalaskelmien tekeminen. Niiden avulla voidaan muun muassa kehittää laskentamenetelmiä sekä kalibroida käytettyjä lähtötietoja toteutumiin nähden tulevien laskentatulosten laadun parantamiseksi.

2.5 Elinkaarilaskennan soveltaminen

2.5.1 Kulutus- ja tuotantohyödykkeet

Kulutushyödykkeillä käytännössä aina ja tuotantohyödykkeillä hyvin usein käyttäjä ei ole osallistunut tuotteen suunnitteluun, joten hänen vaikutusmahdollisuutensa elinkaarikustannuksiin ovat enää rajalliset. Tällöin ideaalitapauksessa valinta tehdään vaatimustason täyttävien tuotteiden joukosta elinkaarikustannusten perusteella. On myös yleistynyt, että elinkaarikustannukset otetaan huomioon tuotteen mainonnassa ja että tuotteet pyritään suunnittelemaan esimerkiksi energiataloudellisiksi pienentäen näin käyttökustannuksia. Hutton ja Wilkie (1980, 353) käyttävät jääkaappipakastinta esimerkkinä tuotteesta, jolla hankinta on pieni osa kokonaiskustannuksista, sillä niillä energiakustannukset ovat noin 60 % elinkaarikustannuksista.

On myös päinvastaisia tilanteita, joissa ostajaa tietoisesti harhaanjohdetaan halvalla tuotteella tietäen, että elinkaariajattelu ei yleensä ole luontaista. Niin sanotussa captive-hinnoittelussa perustuote on halpa, mutta esimerkiksi siihen liittyvät varaosat ja oheistuotteet, joita käyttäjän on käytännössä pakko hankkia, ovat suhteellisen kalliita. Esimerkkinä captive-hinnoittelusta käytetään usein partahöylää, jonka vaihtoterät ovat huomattavan arvokkaita varsinaiseen tuotteeseen nähden.

Yksittäiselle kuluttajalle elinkaarikustannusten arvioiminen on vaikeaa muun muassa siksi, että tilastotietojen saaminen tuotteista on hankalaa ja käyttömäärissä voi olla suuria eroja (Hutton & Wilkie 1980, 351). Fabrycky ja Blanchard esittävät, että erityisesti tuotteissa, joita kuluttajat käyttävät paljon, valinta tehdään kuitenkin subjektiivisesti mielikuvien perusteella. Tuotantohyödykkeissä ostajana on pääsääntöisesti organisaatio, joka yleensä analysoi hankinnan objektiivisesti. (Fabrycky & Blanchard 1991, 16-17) Tällöin voidaan olettaa, että useammin kyetään löytämään hankintahetkellä vielä sitoutumattomien kustannusten minimi.

2.5.2 Puolustusvälinehankinnat

Puolustusmenojen suuruus on poliittinen päätös. Valtion budjetista myönnettävän rahoituksen määrä määritetään tavallisesti prosentteina bruttokansantuotteesta käyttäen vertailukohtana muiden vastaavien valtioiden tasoa. Julkisessa keskustelussa ei yleensä kiinnitetä niinkään paljoa huomiota siihen, millaisen suorituskyvyn omaavaa kalustoa ja kuinka paljon mahdollisesti tarvittaisiin kuin siihen, että hankinnoissa pysytään annetuissa puolustusmenojen raameissa. Tällöin puolustusvoimien vastuulle jää myönnettyjen määrärahojen mahdollisimman tehokas hyödyntäminen.

Puolustukseen sijoitetuista varoista saatava hyöty ei ole juurikaan mitattavissa rahassa. Mikäli poliittinen tilanne on sellainen, ettei puolustusvoimia tarvita, voidaan niiden väittää olevan pelkkä kustannus. Toisaalta myös tällaisissa olosuhteissa pelkkä puolustusvoimien olemassaolo saattaa aiheuttaa sen, että tilanne ei kehity sellaiseksi, jossa puolustusvoimia tarvittaisiin tositoimissa. Mikäli voidaan osoittaa, että puolustusvoimat pystyvät estämään esimerkiksi maan valloittamisen tai ydinvoimalaitosta vastaan tehtävän terrori-iskun, on niiden olemassaolon oikeutus helppo perustella, mutta silloinkin saatavaa hyötyä on vaikea ilmaista rahassa. Täten puolustusvälineisiin liittyvät hyödyt ovat erityisesti normaalioloissa pääosiltaan kvalitatiivisia ja niiden taloudellisuuden määrittäminen rajoittuu lähinnä kustannusten analysointiin. Vallitsevissa reunaehdoissa elinkaarilaskenta tarjoaa hyvän apuvälineen rahoituksen käytön suunnittelulle.

Sotilasorganisaatioiden mielenkiinnon juuri elinkaarilaskentaa kohtaan voidaan olettaa lähtökohteisesti perustuvan kuvaan 3. Koska ainakin suuremmissa maissa hankittavat järjestelmät yleensä suunnitellaan ja valmistetaan tilaustyönä ensisijaisesti omaan käyttöön, ja niitä käytetään sekä ylläpidetään itse, ovat kaikki elinkaarilaskennan tarjoamat mahdollisuudet tällöin parhaiten hyödynnettävissä. Viimevuosina yleismaailmallisen poliittisen tilanteen suotuisan kehityksen seurauksena supistuneet puolustusbudjetit ja siitä seurannut pyrkimys käytettävissä olevan rahan parempaan hyödyntämiseen ovat osaltaan lisänneet tarvetta menetelmän soveltamiseen.

Elinkaarilaskennan käyttöä ovat lisänneet myös nopeasti kallistuvat asejärjestelmät sekä niiden oletettavissa olevat pitkät käyttöiät. Pitkien käyttöikien seurauksena käyttö- ja ylläpitokustannusten merkitys kasvaa korostaen elinkaariajattelun etuja. Mitä aikaisemmin ja tarkemmin näitä kustannuksia pystytään ennustamaan, sitä paremmat edellytykset on päätöksen tekemiseen. (Kinch 2003, 86-87) Toisaalta realististen kustannusten kohdentaminen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa edesauttaa varmistamaan hankkeen jatkuvuuden erityisesti taloudellisesti vaikeina aikoina (mt. 95).

USA:n puolustusministeriö on ollut erityisesti huolissaan juuri kalustonsa käyttö- ja ylläpitokustannusten⁴ noususta. Tyypillisessä vuoden 1980 hankintaprojektissa, jolla on oletettu olevan 30 vuoden elinkaari, on näiden kustannusten osuus noin 72 % kaikista elinkaarikustannuksista. Käyttö- ja ylläpitokustannukset ovat välttämättömiä, jotta olemassa olevalla kalustolla pystytään ylläpitämään vaadittava asevoimien valmius. Koska ne kuitenkin vievät suuren osan rahoituksesta, ei kaluston modernisoimiseen ja uusien järjestelmien kehittämiseen, jotka olisivat tehokkaimmat keinot käyttö- ja ylläpitokustannusten pienentämiseen, ole riittävästi varoja käytettävissä. Tavoitteena on, että vuoteen 2005 mennessä nykyisen kaluston käyttö- ja ylläpitokustannuksia pystytäisiin laskemaan 20 % ja että uusien kehitettävien järjestelmien elinkaarikustannukset tulisivat olemaan 20 – 50 % alhaisemmat kuin järjestelmien, jotka ne korvaavat. (General Accounting Office 2000, 6-7)

⁴ Polttoaineet, voiteluaineet, varaosat, modifikaatiot, huoltotyö sekä näihin liittyvä alihankinta

2.5.3 Lentokoneet

Uusien lentokoneiden kehittämis- ja valmistusvaiheessa kustannusten sitoutuminen on voimakasta (Drury 2000, 890). Elinkaarilaskennan käyttäminen suunnittelua ohjaavana tekijänä mahdollistaa näiden kustannusten riittävän aikaisen tunnistamisen ja siten perusteltujen päätösten tekemisen siinä vaiheessa, jolloin lopputulokseen voidaan vielä merkittävästi vaikuttaa. Menetelmän soveltaminen ilmailussa on helpompaa kuin monilla muilla aloilla, sillä toiminnan sääntelyn seurauksena erilaisten kustannustietojen saatavuus on parempaa (Kinch 2003, 86). Toisaalta ilmailussa noudatettava konservatismi muun muassa siihen liittyvine muutosten tosittamisvaatimuksineen aiheuttaa sen, että suhteellisten pienten parannusten toteuttaminen saattaa kestää huomattavasti muita aloja kauemmin.

Lentokoneilla, jotka eivät tuota tuloa, kuten useimmat sotilaskoneet, ovat elinkaarikustannukset parempi taloudellisuuden mittari kuin vuotuiset käyttökustannukset. Tyypillisellä taistelukoneella muodostavat suunnittelu- ja kehityskustannukset sekä itse lentokoneen, sen varaosien ja maa-laitteiden hankinta puolet elinkaarikustannuksista, mikä on enemmän kuin matkustajakoneilla. Osaltaan tämä johtuu koneiden käyttömäärien eroista. On joitakin merkkejä siitä, että sotilaskoneiden elinkaarikustannukset ovat suurin piirtein suoraan verrannollisia koneen massa- ja huip-punopeuteen aina Machin luvulle⁵ 1,3 asti. (Howe 2000, 12)

Sotilas- ja siviililentokoneiden käyttömäärien erot vaikuttavat elinkaarikustannusten jakautumiseen. Nykyisin käytössä olevat hävittäjälentokonetyypit on suunniteltu tyypillisesti noin 6000 lentotuntia vastaavaa käyttöä varten ja normaalisti ne ovat käytössä noin 30 vuotta. Täten keskimääräinen vuotuinen lentotuntimäärä on noin 200 tuntia. Kaupallisessa siviiliilienteessä olevien matkustajalentokoneiden suhteen tilanne on toinen. Ensinnäkin käytön erilaisuuden takia niille ei yleensä ole asetettu lentotuntirajoja, vaan käyttöä voidaan periaatteessa jatkaa koneen kunnon mukaan, joskin taloudellisuuskäkökohdat usein rajoittavat käyttövuosien määrää ainakin merkittävimmissä lentoyhtiöissä. Toisaalta matkustajakoneiden vuotuiset lentotuntimäärät poikkeavat huomattavasti tyypillisistä sotilaskoneista. Esimerkiksi Finnair lensi vuonna 2003 liikennelentoja 172884 tuntia ja konsernin laivastoon kuului vuoden lopussa 59 lentokonetta (Finnair 2004, 19). Olettamalla koneiden lukumäärän pysyneen vuoden aikana vakiona, lennettiin yhdellä koneella keskimäärin noin 2900 tuntia eli noin 15-kertainen määrä tyypilliseen sotilaskoneeseen nähden.

Lentokoneiden elinkaarikustannuksista ei ole juurikaan saatavissa yksityiskohtaisia lukuja, mutta suuruusluokka-arvioiden tekeminen on mahdollista käytettävissä olevien tietojen avulla. USA:n ilmavoimien F-16 - ja A-10 -koneiden käyttö- ja ylläpitokustannukset olivat vuonna 1999 yhteensä 3,3 miljardia USD vuoden 2000 rahassa mitattuna ja koneita oli tammikuussa 2000 käytössä yhteensä 1740 kappaletta (General Accounting Office 2000, 16-17). Täten yhden koneen vuotuiset käyttö- ja ylläpitokustannukset olivat noin 1,9 miljoonaa USD. Mikäli oletetaan, että koneella len-

⁵ Lento- ja äänennopeuden suhde

netään 200 tuntia vuodessa, on käyttö- ja ylläpitokustannusten osuus lentotuntia kohti noin 9500 USD. Mikäli vielä oletetaan, että koneet noudattavat riittävällä tarkkuudella edellisessä luvussa esitettyä USA:n puolustusministeriön laskelmaa, jonka mukaan tämän ikäluokan asejärjestelmien käyttö- ja ylläpitokustannukset ovat noin 70 % kaikista elinkaarikustannuksista, olisi lentotuntia kohden laskettu elinkaarikustannus noin 13500 USD. Summat ovat useimpien mittapuiden mukaan absoluuttisesti suuria, joten jo pienillä prosentuaalisilla muutoksilla voi olla merkitystä.

USA:n ilmavoimien käyttö- ja ylläpitokustannukset kasvavat noin 4 % vuosivauhdilla, vaikka vuosina 1986 - 1998 lentokoneiden määrä on laskenut 35 %, lentotuntien määrä 39 % ja henkilöstön määrä 38 %. Suurin syy kustannusten nousuun on varaosien hintojen kohoaminen. (General Accounting Office 2000, 7-8). Lukujen valossa on helppo ymmärtää edellisessä luvussa esitetty USA:n puolustusministeriön huoli kustannusten noususta sekä asetetut säästötavoitteet.

Uudet innovatiiviset ratkaisut sekä elinkaarikustannusten huomioon ottaminen suunnittelussa voivat mahdollistaa merkittävien säästöjen aikaansaamiseen nykyaikaisissa sotilaslentokoneissa. Stanke ja Murman (2002, 612.4) käyttävät tutkimuksessaan yhtenä esimerkkinä Ruotsissa vanhentuvan Viggenin korvaavaa Gripen-hävittäjää. Viggenin käyttökokemusten perusteella määriteltiin, että uuden koneen tulisi olla pienempi, soveltuvampi useampaan erilaiseen tehtävään sekä elinkaarikustannuksiltaan selvästi edullisempi. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi suunnittelussa turvauduttiin laajasti aivan uudentyyppeihin ratkaisuihin. Lopputuloksena oli, että Gripenin elinkaarikustannusten oletetaan olevan 40 % pienemmät kuin Viggenin.

Elinkaarikustannusten analysoimisen ja hallinnan kannalta mielenkiintoinen tieto on USA:n ilmavoimien kokemus siitä, että jokaisessa konetyypissä on noin 25 osaa, jotka dominoivat huolto- ja korjauskustannuksia. Esimerkiksi F-16 -hävittäjässä on noin 7000 korjattavissa olevaa osaa. Näistä 25 yleisimmin korjattavaa muodostivat kuitenkin jopa noin 44 % koneen kaikista korjauskustannuksista vuonna 1998. Osista 16 liittyi moottoriin ja neljä tutkaan. (General Accounting Office 2000, 9) Täten luvussa 2.2.1 esitetty ajatus siitä, että laskennassa kannattaa tarkastella vain merkittäviä tekijöitä työmäärän säästämiseksi, tuntuu perustellulta. Käytännön ongelmana on luonnollisesti kuitenkin se, että kaikkien tekijöiden joukosta täytyy ensin tunnistaa kyseiset kriittiset tekijät.

2.6 Elinkaartilaskennan käytön laajuus ja ongelmat

Useista viimeaikaisista elinkaartilaskentaa käsittelevistä tarkasteluista välittyy kuva, että vaikka kyseessä on laajan katsantokannan omaava menetelmä, niin sitä ei valitettavasti hyödynnetä siinä määrin kuin olisi suotavaa. Barringer ja Weber (1996, 3-5 – 3-7) mainitsevat elinkaartilaskennan käyttöä rajoittaviksi tekijöiksi muun muassa seuraavanlaisia seikkoja

1. Elinkaartilaskenta ei ole eksakti tiede. Siinä oikeiden tai väärin tulosten asemesta saadaan paremmin tai huonommin perusteltuja tuloksia.

2. Tulokset ovat arvioita, jotka eivät voi olla tarkempia kuin käytetyt lähtötiedot. Tulosten epätarkkuuden astetta on lisäksi vaikea määrittää, sillä ilmiöiden tilastollinen vaihtelu voi olla suurta.
3. Laskenta edellyttää paljon tietoa, mutta sitä on yleensä vain vähän käytettävissä. On myös tavallista, että kaikki käytettävissä oleva tieto ei ole luotettavaa. Tiedon hankkiminen on usein työlästä ja kallista.
4. Eri osapuolten laatimien laskelmien tuloksissa on usein eroja, sillä ne perustuvat eri lähtötietoihin. Tämä aiheuttaa menetelmälle uskottavuusongelmia.
5. Laskenta edellyttää skenaarioita monista erilaisista tulevista tapahtumista.
6. Käytettävät mallit täytyy kalibroida tarkasteltavaan tilanteeseen, jotta niistä saadaan paras hyöty.
7. Tulokset eivät sovellu hyvin budjettiin, ainoastaan vaihtoehtojen vertailuun.

Elinkaarilaskenta, kuten muutkin analyysit, tehdään kulloinkin käytettävissä olevaan tietoon perustuen. Tietämyksen lisääntyessä voidaan laskelmia päivittää. Elinkaarilaskennan laaja-alainen lähestymistapa edellyttää enemmän lähtötietoja muihin menetelmiin nähden, mutta palkkiona odotetaan olevan laadukkaampi tulos. Mikäli menetelmää sovelletaan eri vaihtoehtojen vertailuun, vähenee vaadittavien lähtötietojen määrää yleensä huomattavasti. Tällöin myös tietojen laadussa voidaan jossain määrin joustaa, sillä tavoitteena ei useinkaan ole absoluuttisen oikea tulos, vaan vaihtoehtojen edullisuusjärjestyksen määrittäminen.

Barringer ja Weberin näkemys siitä, että elinkaarilaskennan tulokset eivät sovellu hyvin budjettiin vaikuttaa hieman yksipuoliselta. Vuosi- ja sitä lyhyemmän tähtäimen budjetoinnissa kannanottoon on helppo yhtyä, sillä yleensä elinkaarilaskennassa ei pystytä määrittämään tapahtumien ajankohtia tarkasti. Luonnollisesti myöskään tilanteissa, joissa pääpaino on ollut vaihtoehtojen edullisuusjärjestyksen määrittämisellä, eivät tulokset välttämättä sovellu sellaisenaan budjettiin. Mikäli taas on laadittu elinkaaritarkastelu parhaan olemassa olevan tiedon pohjalta, tuntuu tulosten hyödyntäminen perustellulta tehtäessä esimerkiksi pitemmän aikavälin budjetteja tai budjettisuunnittelua.

Elinkaarilaskennan käyttöön liittyväksi ongelmaksi voidaan ainakin jossain määrin katsoa mahdollinen osaoptimointi ja sen vaikutukset. Esimerkiksi laitteen yksittäinen suunnittelija, joka voi lopputuloksen kannalta olla ensiarvoisen tärkeä, on yleensä pääsääntöisesti kiinnostunut vain niistä kustannuksista, joihin hän voi vaikuttaa. Kokonaisuuden kannalta edullisin ratkaisu ei kuitenkaan yleisesti ottaen ole edullisimpien osakokonaisuuksien summa. Täten yksittäisen henkilön ohjaaminen ja motivoiminen ei välttämättä ole helppoa. Laajemmassa mittakaavassa katsottuna esimerkiksi tuotteen valmistaja voi omaa etuaan tavoitellessaan käyttää ratkaisuja, jotka lopulta jäävät vaikkapa yhteiskunnan maksettaviksi. Tämä edellyttää lainsäädännön kehittämistä. Esimerkkinä sääntelystä ovat muun muassa erilaiset kierrätysmaksut, jotka veloitetaan jo tuotteen oston yhteydessä.

Elinkaarilaskennan käyttöön liittyvät täten kaikki tulevaisuuden ennustamisen epävarmuustekijät sekä inhimilliseen toimintaan liittyvät seikat. Menetelmään ei kuitenkaan voida katsoa liittyvän mitään sellaisia tekijöitä, jotka eivät sinällään sisältyisi, tai joiden kokonaisuutta tarkasteltaessa pitäisi sisältyä, myös kaikkiin muihin arviointimenetelmiin. Elinkaarilaskennassa korostetaan kaikkien tuotteeseen sen elinkaaren aikana liittyvien merkittävien kustannusten huomioonottamista halutun toimintotason saavuttamiseksi. Täten se on valittujen reunaehtojen rajoissa lähtökohtaisesti kaikenkattava, joten vaadittava työmäärä on suurempi suppeamman näkökannan omaaviin menetelmiin nähden. Samalla kuitenkin todennäköisyys realistisen lopputuloksen saavuttamiselle kasvaa ja tarkasteltavasta hankkeesta kokonaisuutena saadaan muodostettua parempi yleiskuva.

Monien ilmiöiden tarkastelun sanotaan edellyttävän tieteen ja taiteen yhdistämistä hyvään arvostelukykyn. Tätä määritelmää Barringer ja Weber (1996, 3-2) soveltavat elinkaarilaskentaan. USA:n laivaston antamista elinkaarilaskennan yleisohjeista on myös nähtävissä harkinnanvaraisuuden salliminen suhtautumisessa laskennan tuloksiin. Ohjeiden mukaan hankinnan alkuvaiheissa, jolloin kilpailevat vaihtoehdot saattavat olla huomattavan erilaisia ja käytettävissä olevat lähtötiedot epävarmoja, tarjoajan lähestymistapa elinkaarilaskentaa kohtaan sekä ymmärrys menetelmän käyttämisestä yleensä saattavat olla parempia osoituksia laadukkaasta tarjouksesta kuin varsinainen laskelma. Myöhemmissä vaiheissa, jolloin suunnitelmat ovat vakiintuneet ja lähtötiedot ovat luotettavampia, voi pääpaino siirtyä varsinaiseen laskelmaan. Tapauksissa, joissa tarjoajan elinkaarikustannusarviota käytetään päätöksenteon kriteerinä, on suositeltavaa, että elinkaarikustannus on ilmoitettu arvioituna ala- ja ylärajana eikä piste-estimaattina. (Department of Defence 1983, 22). Ohjeissa suositellaan elinkaarilaskennan käyttämistä yhdessä muiden analysointimenetelmien kanssa, jolloin voidaan hyödyntää näiden toisiaan täydentäviä ominaisuuksia (mt. 26).

Vaikka USA:n puolustusministeriö on elinkaarilaskennan alkuperäinen kehittäjä ja eri maiden puolustuslaitoksia pidetään yleisesti sen parhaina hyödyntäjinä, on mielenkiintoista havaita, että jopa heillä katsotaan olevan huomattavasti parannettavaa menetelmän soveltamisessa. Tutkimuksessa, jonka kohteena oli kuusi USA:n puolustusministeriön merkittävää hanketta, muun muassa JSF-hävittäjä, M-1 Abrams –panssarivaunu sekä Apache-helikopteri, tehtiin seuraavanlaisia havaintoja (General Accounting Office 2003, 7-8)

- Käyttö- ja ylläpitokustannusten tärkeydestä huolimatta niille ei ole vaatimuksia asetettaessa annettu yhtä merkittävää painoarvoa kuin järjestelmien suorituskyvylle. Lisäksi toteutuneet kustannukset ovat useimmissa tapauksissa olleet huomattavasti ennakoituja suuremmat.
- Vaatimusten, jotka yleensä painottuivat järjestelmän suorituskykyyn, asettamisen jälkeen tuotekehityksen päätavoitteiksi ovat muodostuneet hankintahinta- ja aikatauluraameissa pysyminen sekä toiminnallisten vaatimusten täyttäminen. Sen sijaan esimerkiksi luotettavuuden lisäämiseen, jolla olisi voitu pienentää elinkaarikustannuksia, on kiinnitetty varsin vähän huomiota.

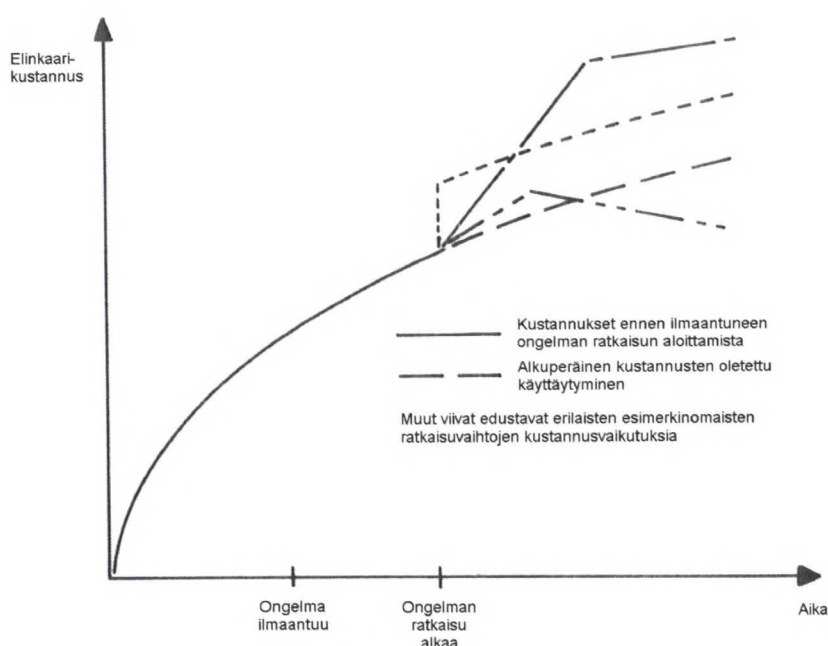
- Kustannussäästöihin pyrittäessä järjestelmien suunnittelussa ei ole juurikaan hyödynnetty ylläpitäjien kokemusta.
- Käyttö- ja ylläpitokustannusten seuraaminen järjestelmän käyttöönoton jälkeen on ollut vaja-vaista, joten takaisinkytkentä vaatimusten asettajille ja järjestelmän valmistajille on ollut riittämätöntä.

3 ELINKAARILASKENNAN SOVELTAMINEN SOTILASLENTOKONEEN RAKENTEEN KORJAUSINVESTOINTIPÄÄTÖKSEEN

Tässä luvussa tarkastellaan tekijöitä, joita tarvitaan sovellettaessa luvussa 2.4 esitettyä elinkaarilaskennan toteuttamista sotilaslentokoneiden rakenteiden korjausinvestointipäätöksiin. Aluksi rakenteiden korjausinvestointia käsitellään lyhyesti yleisellä tasolla. Tämän jälkeen tarkastellaan laskelmissa huomioon otettavia seikkoja, jotka on jaettu makro- ja mikrotason tekijöihin. Lisäksi esitellään laskentapohja helpottamaan mekaanisen laskennan toteuttamista.

3.1 Rakenteen korjausinvestointi

Rakenteen korjausinvestoinnilla varmistetaan lentokonetyypin lentoturvallisuus ja käytettävyys tilanteissa, joissa sitä uhkaa rakenteellinen ongelma. Kuvassa 4 on havainnollistettu ongelman ratkaisemiseksi ehdolla olevien korjausinvestointivaihtoehtojen mahdollisia vaikutuksia elinkaarikustannuksiin.



Kuva 4. Rakenteen korjausinvestointivaihtoehtojen erilaisia vaikutuksia elinkaarikustannuksiin.

Tieto uhkaavasta ongelmasta voidaan saada esimerkiksi lentokoneen valmistajalta, konetyypin muilta käyttäjiltä tai oman käyttökokemuksen perusteella. Ratkaisuun tähtäävät toimenpiteet alkavat jonkinlaisella viiveellä ongelman ilmaantumisen jälkeen. Mikäli kyseessä on akuutti lentoturvallisuusongelma, on viive yleensä hyvin lyhyt. Tällöin ensimmäinen toimenpide on pääsääntöisesti kaluston tarkastaminen lentoturvallisuuden varmistamiseksi ja ongelman laajuuden selvittä-

• miseksi. Mikäli ongelma on luonteeltaan sellainen, että se ei vaadi välittömiä toimenpiteitä, voi viive olla enimmillään vuosia.

Ongelman ilmaantuessa teknisten asiantuntijoiden tehtävänä on vaihtoehtojen generoiminen, jotta kaluston lentoturvallisuus ja käytettävyyks voidaan ylläpitää vähintään alkuperäisellä tasolla. Normaalioloissa lentoturvallisuudesta tinkimistä ei pidetä vaihtoehtona, mutta korjaavien toimenpiteiden toteutus yleensä väistämättä hetkellisesti laskee kaluston käytettävyyttä. Ongelmien pääasiallisina ratkaisuvaihtoehtoina ovat korjaaminen, tarkastaminen tai niiden yhdistelmät.

Mahdolliset korjausvaihtoehdot ovat tapauskohtaisia. Tavoitteena on, että korjauksen jälkeen rakenteen ominaisuudet (lujuus, jäykkyys, elinikä, massa jne.) täyttävät konetyypin alkuperäisen spesifikaation eivätkä siten aiheuta uusia rajoituksia koneen käytölle. Tehtävät korjaukset voivat vaihdella yksinkertaisista hyvin monimutkaisiin.

Lentoturvallisuus voidaan varmistaa myös tarkastamalla kalusto säännöllisin väliajoin ongelma-alueelta. Mikäli liiallisia vaurioita havaitaan, ryhdytään jatkotoimenpiteisiin. Tilanteesta riippuen jatkotoimenpiteet voivat olla esimerkiksi rakenteen korjaus tai koneyksilön poistaminen käytöstä, mikäli korjaus katsotaan kannattamattomaksi jäljellä olevaan elinikään nähden. Tarkastuksiin turvautuminen voi olla myös väliaikainen ratkaisu tapauksissa, joissa esimerkiksi korjauksen suunnittelu, osien valmistus tai kapasiteettiongelmat eivät mahdollista korjauksen tekemistä heti.

Tarkastuksen yleensä edellyttämän purku-, kasaus- ja testaustyömäärän lisäksi merkittävät vaihtoehtojen kannattavuuteen vaikuttavat tekijät ovat vaadittu aloitusajankohta sekä tarkastusjakso. Aloitusajankohta määräytyy vian oletetun aikaisimman esiintymisajankohdan perusteella. Tarkastusjaksoon puolestaan vaikuttaa vian ennustettu kasvuaika kriittiseen mittaansa. Jotta lentoturvallisuus voidaan taata, on tarkastusjakso määritettävä sellaiseksi, että voidaan olla riittävän varmoja vian löytymisestä ennen kuin se aiheuttaa onnettomuuden. Yleensä pienimmän havaittavissa olevan ja suurimman sallitun vian väliselle ennustetulle ajanjaksolle vaaditaan kolme tarkastuskertaa, jotta voidaan varmistaa vian löytyminen käytännössä.

Kustannusten nousu, käytettävissä olevan rahoituksen pieneneminen ja muut vastaavat tekijät ovat aiheuttaneet sen, että valittavan ratkaisun pitää teknisten ominaisuuksien lisäksi olla myös taloudellinen. Täten eri vaihtoehtojen vaikutukset elinkaarikustannuksiin on pystyttävä arvioimaan.

Ratkaisuun tähtäävien toimenpiteiden aloittaminen vaikuttaa elinkaarikustannuksiin. Jos ongelma edellyttää edellä mainittuja välittömiä lentoturvallisuuden varmistavia toimenpiteitä, on näiden kustannusten suhteen hyvin vähän käytännön vaihtoehtoja. Mikäli aikaa on enemmän käytettävissä, antaa se mahdollisuuden analysoida vaihtoehtoisia ratkaisumalleja ja niiden taloudellisia vaikutuksia. Ongelmat eivät yleensä ilmene kaikilla käyttäjillä samanaikaisesti tai samassa laajuudessa. Tämä johtuu siitä, että konetyyppi on voinut olla käytössä eripituisia aikoja ja sen käyttö on

voinut poiketa muiden käytöstä. Tällöin on mahdollista, että ratkaisun löytäminen ongelmaan on jollekin muulle käyttäjälle kiireellisempää, jolloin ratkaisuvaihtoehdoista sekä niiden toimivuudesta ja kustannuksista saadaan luotettavampaa tietoa ennen omaa päätöksentekoa.

Vaihtoehtojen vertailu elinkaarikustannusten pohjalta ei edellytä kaikkien elinkaarikustannusten tarkastelemista, vaan ainoastaan tekijöiden, joihin vaihtoehdot vaikuttavat. Täten korjausinvestointeja vertailtaessa on tarpeen tutkia vain eri vaihtoehtojen aiheuttamaa elinkaarikustannusten muutosta siihen tilanteeseen nähden, että kyseistä ongelmaa ei olisi ilmaantunut.

3.2 Makrotason tekijät

3.2.1 Rahan aika-arvo

Tietyllä hetkellä käytettävissä oleva euro ei vastaa arvoltaan myöhemmin käytettävissä olevaa euroa. Tämä johtuu siitä, että rahalla on aika-arvoa seuraavien tekijöiden seurauksena (Fabrycky & Blanchard 1991, 30)

1. Rahan tuloksenteekokyky (earning power of money)

Mikäli käytettävissä oleva rahamäärä voidaan sijoittaa siten, että se tuottaa, on kullakin ajanhetkellä käytettävissä oleva euro arvokkaampi kuin euro jollain myöhäisemmällä ajanhetkellä, koska sen sijoittaminen lisää varallisuutta.

2. Rahan ostovoima (purchasing power of money)

Hintatason muuttuessa tiettyyn rahamäärään liittyvä ostovoima muuttuu. Inflaation vallitessa hintataso nousee ja ostovoima pienenee. Täten euro kullakin ajanhetkellä on arvokkaampi kuin euro jollain myöhäisemmällä ajanhetkellä, koska sillä voi ostaa enemmän tuotteita tai palveluita. Huomattavasti harvinaisemman deflaation aikana tilanne on päinvastainen.

Kaikkien hintojen inflaatiokäyttäytyminen ei ole samanlaista. Inflaatio voidaan jakaa muun muassa seuraavasti (Neale & McElroy 2004, 134)

- 1. Yleinen inflaatio, joka on koko talouden keskimääräinen arvo**
- 2. Projektispesifinen inflaatio**

Inflaatio voi siten muuttua sekä tuotteen että ajan suhteen. Yksittäisten tuotteiden inflaation määrittämisestä yleisempää on arvon määrittäminen suuremmille kokonaisuuksille.

Hintaindeksi on tietyn ajanhetken hinnan suhde tietyn aikaisemman ajanhetken, vertailuajankohdan, hintaan. Hintaindeksejä määritetään erilaisille kokonaisuuksille, kuten esimerkiksi kuluttaja- ja tuottajahinnoille. Tarkasteltavan kokonaisuuden vuoden $(t+1)$ inflaatio i_t voidaan laskea hintaindeksien avulla kaavasta (Fabrycky & Blanchard 1991, 62-65)

$$i_t = \frac{(\text{Indeksi vuodelle } (t+1)) - (\text{Indeksi vuodelle } t)}{(\text{Indeksi vuodelle } t)} \quad (3)$$

sekä aikavälin $t - (t+n)$ keskimääräinen inflaatio \bar{i}_t kaavasta

$$(\text{Indeksi vuodelle } t)(1 + \bar{i}_t)^n = (\text{Indeksi vuodelle } (t+n)) \quad (4)$$

Rahan aika-arvon takia nykyisiä ja tulevia euroja ei voida laskea suoraan yhteen, vaan ne on ensin saatettava yhteismitallisiksi diskonttaamalla. Olettamalla rahan aika-arvoa kuvaava vuotuinen korko vakioksi, voidaan rahamäärän nykyarvo laskea kaavasta (Fabrycky & Blanchard 1991, 42)

$$P = \frac{F}{(1+i)^n} \quad (5)$$

jossa P = nykyarvo

F = rahamäärä tulevaisuudessa

n = tulevaisuuden ja tarkasteluhetken välillä olevien vuosien määrä

i = vuotuinen korko

Mikäli vuotuisen koron oletetaan muuttuvan, kuten todellisuudessa tapahtuu, voidaan nykyarvo laskea kaavalla

$$P = F \prod_{j=1}^n \frac{1}{(1+i_j)} \quad (6)$$

jossa i_j = vuonna j vallitseva korko

Vaiikka vaihtuvan koron käyttäminen laskelmissa olisi periaatteessa oikea tapa, on ongelmana se, että koron käyttäytymisen arvioiminen on erittäin vaikeaa. Niinpä laskelmissa tuntuu vakiintuneelta käytännöltä, että ne tehdään pääsääntöisesti olettaen korkokannan pysyvän tarkastelujaksolla vakiona. Jo vakiokoron arvioiminen on riittävän vaikeaa ja epävarmaa.

Tarkasteltavat rahasummat voivat olla nimellis- tai reaali-määräisiä. Nimellis- eli todelliset eurot sisältävät inflaation vaikutuksen (Office of Management and Budget 1992, 18), joten ne edustavat kunkin ajanhetken todellisia kassavirtoja. Esimerkiksi budjetoinnissa niiden käyttäminen on siten yleensä perusteltua. Nimelliseurojen diskonttaamiseen täytyy käyttää nimelliskorkoa, joka myös sisältää inflaation vaikutuksen (mt. 18). Korot ilmoitetaan yleensä nimellisarvoisina. Esimerkiksi markkinakorot ovat pääsääntöisesti nimelliskorkoja (mt. 18).

Reaali- eli vakioeurot eivät sisällä inflaation vaikutusta, vaan ne edustavat vakiohintatasoa eli valitun perusvuoden ostovoimaa. Niiden diskonttaamiseen täytyy käyttää reaalikorkoa, joka ei myöskään sisällä inflaation vaikutusta. (Office of Management and Budget 1992, 18) Reaalieuroja voidaan pitää tietyllä tavalla hypoteettisina, mutta niiden käyttäminen on joissain tilanteissa vaiuattomampaa kuin nimelliseurojen. Esimerkiksi eri hankkeiden vertailussa, jossa kiinnostuksen kohteena on ennen kaikkea eri vaihtoehtojen edullisuusjärjestys, aiheuttaa inflaation huomioonottaminen yleensä pelkästään lisätyötä. Rahatyypin valinnasta riippumatta päädytään hankkeiden vertailussa samaan lopputulokseen.

Nimellis- ja reaalikoron sekä inflaation välillä vallitsee yhteys (Fabrycky & Blanchard 1991, 71)

$$(1 + i_n) = (1 + i_r)(1 + i_i) \quad (7)$$

jossa i_n = nimelliskorko

i_r = reaalikorko

i_i = inflaatio

Koron suuruus määräytyy markkinoilla rahan kysynnän ja tarjonnan sekä toimijaan liittyvän riskin perusteella. Täten sen arvo vaihtelee sekä organisaation että ajan suhteen.

Valtion talousarviosta annetun asetuksen (1243/1992) 56§:n (1253/2004) mukaan investointilaskelmissa ja muussa pääomien käytön arvioinnissa käytetään tuottovaatimuksena euromääräisen pitkäaikaisen lainanoton efektiivistä korkokustannusta valtiolle. Valtiokonttori julkaisee vuosittain käytettävän arvon, joka vuoden 2005 laskelmissa on 2,4 %:n nimelliskorko. Reaalikorkoa käytettäessä nimelliskorko korjataan laskentakohteen kannalta tarkoituksenmukaisella edellisvuoden kustannuskehitystä kuvaavalla hintaindeksillä, esimerkiksi yleistä hintakehitystä kuvaavalla kuluttajahintaindeksillä. (Valtiokonttori 2005)

Yhdysvalloissa Office of Management and Budget julkaisee vuosittain käytettävät nimellis- ja reaalikorot. Suomen käytännöstä poiketen luvut annetaan 3, 5, 7, 10 ja 30 vuoden tarkastelujaksoille. Koron voidaan olettaa muuttuvan lineaarisesti annettujen ajankohtien välillä ja yli 30 vuoden ajanjaksoja tarkasteltaessa voidaan käyttää 30 vuoden arvoa. (Office of Management and Budget 2004)

Tarkastelujakson pituudesta riippuva korko on teoriassa elinkaarilaskennan kannalta parempi vaihtoehto kuin jakson pituudesta riippumaton, sillä sen avulla voidaan ottaa huomioon esimerkiksi ennustetut talouden muutoksen vaikutukset ja jakson pituuteen liittyvät riskin vaihtelut. Koron arvioinnin vaikeus huomioon ottaen ei laskennan tulos välttämättä kuitenkaan käytännössä ole parempi.

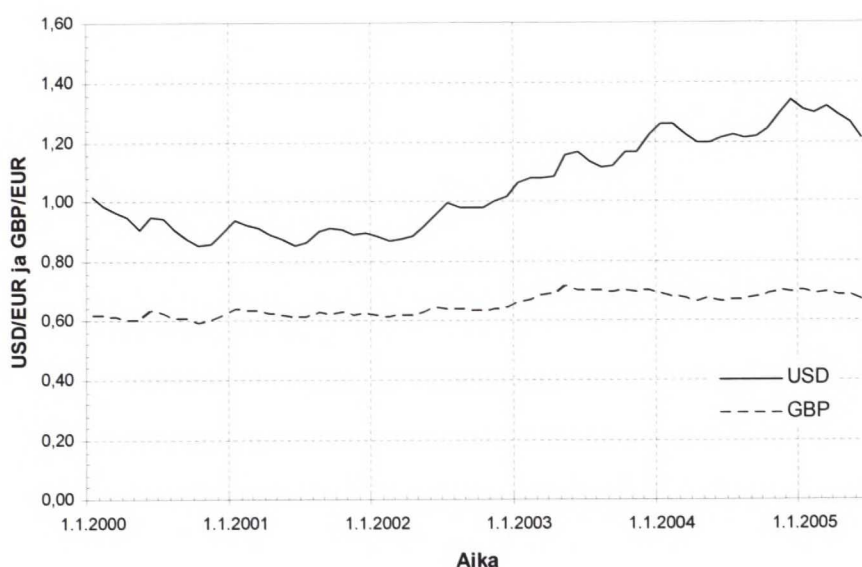
Vaihtoehtojen edullisuuden vertailussa voidaan diskonttauksessa käytettävän koron valinta välttää siten, että laskennassa määritetään ne korkoarvot, jotka muuttavat tarkasteltavien vaihtoehtojen järjestystä. Tämän jälkeen hyväksyttävän koron valinta jätetään päätöksentekijälle. (Department of Defence 1983, 35)

Valtion investointilaskelmissa käytetään yleensä reaali- eli vakioeuroja. Inflaation vaikutus vuotuisiin rahamääriin otetaan jälkikäteen huomioon indeksien avulla. (Kaukinen 2005)

3.2.2 Valuuttakurssit

Lentokoneiden ylläpitäminen ilman valmistajan tukea voi olla hyvin vaikeaa tai jopa mahdotonta. Tämä johtuu muun muassa siitä, että niissä on usein erilaista erikoisosaamista tai erityistyövälineitä vaativia komponentteja, joiden valmistaminen itse on vaativaa tai niistä ei ole riittäviä tietoja käytettävissä. Täten valmistajalta joudutaan yleensä hankkimaan varaosia ja erilaista tuetukea rakenteellisten ongelmien yhteydessä. Nykyisin ilmavoimilla käytössä olevan kaluston seurauksena tärkeimmät tässä kaupankäynnissä tarvittavat vieraat valuutat ovat Yhdysvaltain dollari ja Ison-Britannian punta.

Valuuttakurssit muuttuvat kansainvälisillä markkinoilla, mistä aiheutuu valuuttariski. Kurssimuutosten ennustamista pidetään yleisesti hyvin vaikeana. Euron käyttöönoton seurauksena vuoden 1999 alussa on käytettävissä oleva relevantti historiatieto suhteellisen lyhyeltä ajalta, mikä osaltaan vaikeuttaa tulevan kehityksen arviointia erityisesti pitkällä aikavälillä. Kuten kuvasta 5 nähdään, on erityisesti dollarin arvon muutos ollut melko suurta viimeisen viiden ja puolen vuoden aikana.



Kuva 5. Euron arvo Yhdysvaltain dollareina (USD) ja Ison-Britannian puntina (GBP) 31.1.2000 – 30.6.2005. Arvot lähteestä (Suomen Pankki 2005).

Laskelmissa suositeltava menetelmä, ennustamisen vaikeus huomioon ottaen, on valita tyypillinen valuuttakurssi ja herkkyyssanalyysin avulla tutkia mahdollisten kurssivaihteluiden vaikutusta lopputulokseen. Valtion laskelmissa valuuttakurssina käytetään laskenta-ajankohdan kurssia (Kaukinen 2005).

Mikäli valuuttakurssien muutoksien mahdollisesti aiheuttamaa hankkeen kannattavuuden vähene-
misen riskiä ei haluta ottaa, voidaan sitä vastaan suojautua. Erityisesti organisaatiot, joilla on sekä
valuuttasaamisia että -velkoja, voivat käyttää erilaisia sisäisiä suojautumiskeinoja. Markkinoilla
tarjolla olevia suojautumiskeinoja ovat esimerkiksi valuuttaoptiot, -termiinit ja -warrantit, joilla voi
korvausta vastaan varmistaa vaihtokurssin oman riskirajansa mukaiseksi. Suojautumiskeinojen
käyttö vaihtelee organisaatioiden välillä. Esimerkiksi valtio suojautuu valuuttakurssivaihtelujen
varalta lähinnä sisäisillä keinoilla.

3.2.3 Rahan aika-arvon ja valuuttakurssien yhteys

Edellä tarkasteltuja rahan aika-arvon ja valuuttakurssien käyttäytymisiä arvioitaessa on tiedostet-
tava, että niiden välillä on yhteys. Yhteys ei välttämättä ole yksiselitteinen, sillä se voi riippua mo-
nista eri tekijöistä.

Yhden hinnan lain (the law of one price) mukaan samanlaiset tuotteet noudattavat yhteneväistä
hintaa eri markkinoilla valuuttakurssiero huomioon otettuna (Pike & Neale 1999, 458). Tällä perus-
teella vapailla markkinoilla tuotteiden hinnat esimerkiksi euroissa ja Yhdysvaltain dollareissa riip-
puvat toisistaan kaavan 8 osoittamalla tavalla. Todellisuudessa esimerkiksi kuljetus- ja muut
transaktiokustannukset aiheuttavat sen, että kaava ei täysin päde.

$$EUR\text{-}hinta * USD/EUR\text{-}valuuttakurssi = USD\text{-}hinta \quad (8)$$

Ostovoimapariteettiteorian (the purchasing power parity theory) mukaan valuuttakurssien voidaan
olettaa ottavan huomioon valtioiden väliset inflaatioerot ja siten ylläpitävän yhden hinnan lakia
(Pike & Neale 1999, 459), jolloin tulevaa valuuttakurssia voidaan ennustaa kaavalla

Tuleva valuuttakurssi

$$= \text{Nykyinen valuuttakurssi} * (1 + USA:n\ inflaatio) / (1 + Euro\text{-}alueen\ inflaatio) \quad (9)$$

Ostovoimapariteettiteorian paikkansapitävyyttä vähentää muun muassa valtioiden puuttuminen
valuuttakurssien määräytymiseen. Molempien teorioiden suhteen markkinoiden tasaava vaikutus
ei välttämättä ole välitön, vaan riippuvuuksien voidaan olettaa toteutuvan parhaimmillaankin jon-
kinasteisella viiveellä.

Mikäli valuuttakurssia ja inflaatiota arvioitaessa ei ole käytettävissä parempia perusteita, voidaan kaavalla 9 arvioida yhtä tuntematonta tekijää muiden helpommin määritettävissä olevien avulla.

3.3 Mikrotason tekijät

3.3.1 Ratkaisuvaihtoehtoihin liittyvät kustannustekijät

Elinkaarilaskennan onnistumisen lähtökohtana voidaan pitää merkittävimpien kustannustekijöiden tunnistamista sekä niiden suuruuden mahdollisimman totuudenmukaista arvioimista. Kuten aikaisemmin on todettu, liittyy puolustusvälineisiin yleensä ainoastaan kustannuksia, joten tässä tarkastelussa ei erikseen mainita mahdollisia tuottoja. Mikäli tuottoja liittyy tarkasteltavaan tapaukseen, on ne luonnollisesti otettava huomioon.

Mitä harvinaislaatusemmasta tarkastelusta on kysymys, sitä suuremmaksi nousee asiantuntijoiden merkitys kustannustekijöiden tunnistamisessa ja arvioimisessa. Vaikka nimikkeiden kirjo voi olla suuri, antavat yleisluontoiset jaottelut kustannustekijöihin (katso esimerkiksi liite 1) yleensä hyvän lähtökohdan tunnistamisen aloittamiselle. Parhaan mahdollisen lopputuloksen aikaansaamiseksi kannattaa eri aihealueilla tarvittaessa käyttää ne parhaiten hallitsevia asiantuntijoita.

Asiantuntijoilta ei aina välttämättä tarvita rahamääräisiä arvioita, vaan he voivat käsitellä itselleen tutuimpia suureita, kuten esimerkiksi tunteja, mittoja, painoja, neliöpainoja, hävikkejä jne. Muut henkilöt voivat arvottaa nämä sitten rahaksi ja liittää varsinaiseen elinkaarilaskentaan.

3.3.2 Oppiminen

Työhön kuluva aika ei ole vakio. Erityisesti tilanteissa, joissa jotain tehdään ensimmäisiä kertoja, lyhenee vaadittava aika yleensä nopeasti oppimisen seurauksena. Oppiminen pitää sisällään työntekijöiden oppimista, menetelmien kehittämistä sekä esimerkiksi osien sopivuuden parantamista. Oppimisen vaikutusta työhön kuluvaan aikaan kuvataan oppimiskäyrällä, joka määritellään kaavalla (Vonderembse & White 1996, 455)

$$Y_n = Y_1 n^b \quad (10)$$

jossa Y_n = n :llä kerralla työhön kuluva aika

Y_1 = ensimmäisellä kerralla työhön kuluva aika

n = kertojen lukumäärä

b = $\log r / \log 2$

r = oppimistekijä

Kaava 10 kuvaa sitä, että työhön kuluva aika pienenee oppimistekijän r ilmoittamassa suhteessa aina valmistettujen tuotteiden kumulatiivisen määrän kaksinkertaistuessa. Lentokoneiden kokoonpanotyön oppimistekijän on havaittu tyypillisesti olevan 0,8 (Vonderembse & White 1996, 458). Täten näissä tehtävissä toisella kerralla työhön menee 80 %, neljännellä 64 %, kahdeksannella 51,2 % jne. ensimmäisen kerran ajasta. Koska oppimistekijä ei ole mikään luonnonvakio, on organisaatioiden syytä määrittä sille omat arvonsa erilaisia tehtäviä varten sekä seurata niiden muuttumista olosuhteiden vaihdellessa, jotta arvioinneissa olisi käytettävissä mahdollisimman totuudenmukaisia lukuja.

Työtuntikehitystä arvioitaessa on syytä muistaa, että oppimiskäyrää ei voida välttämättä soveltaa samalla lailla koko kaavailtuun työmäärään. Ensinnäkin oppimistekijä saattaa vaihdella eri työvaiheiden välillä. Toisaalta työhön voi kuulua sellaisia työvaiheita, joita on tehty jo aikaisemmin erisuuruisia määriä. Lisäksi eri työvaiheiden kumulatiivinen määrä voi lisääntyä tarkasteltavaa työtä nopeammin, mikäli niitä tehdään myös muissa yhteyksissä.

Rakennekorjauksia tarkasteltaessa uusista työvaiheista on syytä erotella esimerkiksi sellaiset purku-, kasaus- ja testaustyövaiheet, joita tehdään normaaleissa määräaikaishuolloissa. Näiden kumulatiivinen määrä saattaa olla jo kohtalaisen suuri ja toisaalta niiden kertymä tarkasteltavaa korjausta nopeampaa. Työvaiheelle, jossa on saavutettu oppimiskäyrän hitaan muutoksen alue, ei oppimiskäyrän soveltamisella, erityisesti nyt tarkasteltavilla volyyymeilla, ole juurikaan merkitystä.

3.3.3 Rakenteiden väsyminen

Nykyisin yleisin syy kalustoon laajalti kohdistuviin rakenneongelmiin on väsyminen. Rakenteiden väsyminen aiheutuu siitä, että ne joutuvat alttiiksi kuormitusvaihteluille. Jokainen kuormitusvaihtelu väsyttää rakennetta vaikutuksen lisääntyessä vaihtelun suuruuden kasvaessa. Mikäli kuormitusvaihtelut toistuvat riittävän monta kertaa, ilmenee väsyminen rakenteeseen syntyvinä ja siinä etenevinä säröinä. Tällöin on mahdollista, että yksittäisen osan kokoon nähden pieni särö aiheuttaa käytön aikana osan ja koko rakenteen yhtäkkisen vaurion.

Vaikka rakenteiden väsyminen on ilmiönä tunnettu jo pitkään ja sen estämiseksi on kehitetty erilaisia menetelmiä, aiheuttaa se edelleen ennakoimattomia ongelmia. Tämä johtuu muun muassa seuraavista syistä

1. Käytöstä aiheutuvia kuormia ei ole suunnitteluvaiheessa tunnettu riittävän hyvin.
2. Suunnittelu on ollut puutteellista. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että suunnittelutyö ei ole laadultaan riittävää tai siitä, että käytettyjen materiaalien tai rakenneratkaisujen kaikkia vaikutuksia ei ole osattu ennakoida.
3. Käyttöspektri poikkeaa suunnitellusta eli käyttö painottuu eri lailla kuin on oletettu.
4. Konetta käytetään pitempään kuin on alun perin suunniteltu.

Erityisesti lentokoneiden käyttöiän piteneminen on viime vuosina yleistynyt. Aikaisemmin niiden elinikä oli varsin lyhyt, sillä aerodynamiikan ja rakenteiden nopean kehittymisen seurauksena konetyyppien kiertonopeus oli suhteellisen suurta. Nykyisin kehitys tapahtuu ensisijaisesti järjestelmien ja avioniikan puolella, jolloin vanhaan lentorankoon uusitaan ajanmukaiset järjestelmät.

Väsyminen sekä muut lujuuteen liittyvät ongelmat olisi teoriassa helppo ratkaista jo suunnitteluvaiheessa rakennetta vahvistamalla. Tämä ei kuitenkaan yleensä ole käytännöllinen ratkaisu, sillä se lisää massa, mistä aiheutuu monia seurannaisvaikutuksia. Näistä käyttäjän kannalta merkittävimmät ovat hyötykuorman pieneneminen sekä hankintakustannusten kohoaminen. Täten suunnittelussa on löydettävä tasapaino eri tekijöiden kesken.

Hajonta on merkittävä tekijä tarkasteltaessa väsymisilmiöiden vaikutuksia elinkaarikustannuksiin. Esimerkiksi yksinkertaisille koekappaleille tehdyissä väsytykskokeissa kappaleiden elinikäerot olivat alhaisilla jännitystasoilla 35-kertaisia pienentyen alle kaksinkertaisiksi korkeilla jännitystasoilla. Tutkimusten mukaan jopa 100-kertaiset elinikäerot eivät ole harvinaisia väsymisen tapahtuessa alhaisilla jännitystasoilla. Väsymisilmiön käyttäytymisestä johtuen sen tilastolliseen tarkasteluun käytetään yleensä log-normaali-jakautumaa. (Fuchs & Stephens 1980, 94-95)

Mikäli $Z = \ln X$ ja Z on normaalijakautunut, niin silloin X :n sanotaan olevan log-normaali-jakautunut (Kao 1966, 2-13). Normaalijakautuman tiheys- ja kertymäfunktioit määritellään kaavoilla (Kreyszig 1988, 1211)

$$f(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (11)$$

$$F(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{v-\mu}{\sigma}\right)^2} dv \quad (12)$$

jossa $f(z)$ = tiheysfunktio

$F(z)$ = kertymäfunktio

σ = keskihajonta

μ = odotusarvo

Tiheysfunktio määrittää jakautuman muodon ilmiön odotusarvon ja keskihajonnan perusteella. Kertymäfunktio puolestaan ilmoittaa, millä todennäköisyydellä ilmiö on tapahtunut muuttujan arvolla z ($= \ln x$). Käytettävä muuttuja x voi olla esimerkiksi lentotuntimäärä tai tarkasteltavalle kohteelle määritetty väsymisindeksi. Kertymäfunktion avulla voidaan ennustaa ilmaantuvien väsymisvaurioiden ajankohtia, jolloin kustannusten kohdistaminen helpottuu.

3.3.4 Kaluston käytettävyys sekä vaadittavat resurssit

Ilmavoimille kaluston käytettävyys on erityisen tärkeää kriisin aikana, mutta sitä halutaan ylläpitää korkealla myös normaalioloissa. Näin luodaan perusteet riittävälle käytettävyydelle tilanteissa, jolloin sitä todella tarvitaan. Menettely johtuu siitä, että käytettävyys riippuu merkittävästi esimerkiksi toimintakulttuurista, jonka kehittäminen vaatii aikaa.

Vaikka tämän työ tavoitteena on arvioida ennakoimattomien rakenneaurioiden vaikutuksia elinkaarikustannuksiin, täytyy myös eri ratkaisuvaihtoehtojen vaikutuksia käytettävyyteen arvioida valintaa rajoittavana tekijänä. Elinkaarikustannusten kannalta tarkasteltuna, ottaen huomioon ratkaisuvaihtoehdoilta edellytettävät tekniset sekä lentoturvallisuuskohdat, halvin vaihtoehto on paras. Käytettävyyden kannalta tarkasteltuna paras vaihtoehto on lähtökohtaisesti puolestaan se, joka laskee kaluston käytettävyyttä vähiten jäljellä olevan eliniän aikana. Käytettävyyden laskua voidaan ehkäistä esimerkiksi lisäämällä resursseja. Tästä aiheutuu kuitenkin lisäkustannuksia, joten elinkaarikustannusten ja käytettävyyden välille on löydettävä hyväksyttävissä oleva tasapaino.

Kuten luvussa 2.2.2 on todettu, käytettävyys voidaan määritellä eri tavoilla. Laskentatavasta riippumatta merkittävä tieto on kuitenkin se, kuinka pitkän aikaa kunkin ratkaisuvaihtoehdon yhteydessä yksittäiset koneet tai koko kalusto on pois käytöstä. Tässä työssä käytettävyyden muutosta tarkastellaan työpäivinä, jotka tarvitaan vaadittavien korjausten toteuttamiseen. Valinta on perusteltavissa muun muassa sillä, että esimerkiksi kaavan 2 määrittelemän operatiivisen käytettävyyden laskeminen edellyttää tietoa kaluston kaikista huolloista ja korjauksista, joita elinkaarikustannusten laskijalla ei välttämättä ole käytettävissä.

Käytettävyyden muutoksen arvioimiseksi lähtötietoina ovat niiden tehtävien työtuntiarviot, jotka edellyttävät lentokoneella tehtävää työtä. Nämä muunnetaan työvaiheen kestoksi työpäivissä mitattuna ottamalla huomioon erilaiset rajoitteet (samanaikaisesti työskentelemään mahtuvien henkilöiden määrä, käytettävissä olevat työntekijä- ja muut resurssit jne.). Lisäksi tarvitaan tiedot työvaiheiden keskinäisestä jaksotuksesta, jotta nähdään, mitkä vaiheet voidaan tehdä samanaikaisesti ja mitkä voidaan aloittaa vasta tiettyjen vaiheiden valmistuttua. Yhdistämällä näin saadut tulokset saadaan arvio käytettävyyden muutokselle työpäivissä. Eri ratkaisuvaihtoehtojen edullisuutta voidaan verrata laskemalla niille esimerkiksi käytettävyyden muutoksen ja elinkaarikustannusten muutoksen suhde.

Mikäli käytettävyyden ylläpitäminen tai tehtävät korjaukset muuten edellyttävät resurssien (henkilöstön määrä ja osaaminen, työtilat jne.) kasvattamista, on se yleensä mahdollista vain portaittain. Aiheutuvat lisäkustannukset ovat luonteeltaan osittain muuttuvia kustannuksia (semi-variable cost), jolloin niihin kuuluu sekä kiinteitä että muuttuvia osia.

3.3.5 Rahoitus

Teknisen soveltuvuuden, taloudellisuuden sekä sopivan toteutusaikataulun lisäksi valittavalta ratkaisulta edellytetään, että se sopii sekä määrällisesti että ajallisesti käytössä olevaan rahoitukseen. Erityisesti suurten ennakoimattomien korjausten suhteen ei ylimää räisiin kustannuksiin ole pystytty etukäteen varautumaan, joten tällaiset tapaukset saattavat vaatia sekä toteutuksen että rahoituksen suhteen erillisjärjestelyjä.

Ilmavoimien kaluston rakennekorjausten rahoitus tulee pääsääntöisesti toimintamenorahoista, jotka on tarkoitettu jokapäiväisen toiminnan pyörittämiseen kattaen esimerkiksi palkat, polttoaineet, huollot ja varaosat. Puolustusvoimien toimintamenorahat myönnetään vuosittain valtion talousarviossa. Ilmavoimat vastaa toimintansa suunnittelusta siten, että Pääesikunnan heille näistä rahoista myöntämä osuus riittää vaadittuihin toimintoihin. Lähtökohtaisesti toimintamenorahat pitää sitoa myöntämisvuonna, mutta niihin voidaan kuitenkin myös liittää tilausvaltuus 2-3 vuoden jaksolle, jolloin annetaan oikeus tietyn summan käyttämiseen tiettyyn tarkoitukseen kyseisenä vuonna. Itse maksuosuudet myönnetään kyseisen vuoden talousarviossa. Laajoihin perusparannusten luonteisiin töihin voidaan käyttää myös talousarviossa myönnettäviä hankintamäärärahoja, jotka ovat kuitenkin tarkoitettu pääsääntöisesti materiaalin hankintaan. (Kaukinen 2005)

Jotta ilmavoimat voisi saada valtion talousarvioon tietyn rahasumman, täytyy tarve olla tiedossa vähintään runsas vuosi etukäteen. Kiireellisissä tapauksissa rahoitus on kuitenkin mahdollista järjestää tätä nopeammin lisätalousarvion avulla. Talousarviota pitemmällä tähtäimellä ilmavoimien rahoituksen suunnittelu tehdään vuosittain laadittavalla ja neljän vuoden päähän yltävällä toiminta- ja taloussuunnitelmalla, jonka sisältämien menojen täytyy mahtua kyseisen kauden rahoitusraamiin. Lisäksi tehdään 10-15 vuoden päähän ulottuvia pitkän aikavälin suunnitelmia, joiden rahoituksen ei tarvitse suunnitelmia tehtäessä vielä olla selvillä. (Kaukinen 2005)

Elinkaarilaskennan tekijän on syytä tiedostaa jo varhaisessa vaiheessa rahoituksen mahdollisesti ratkaisuvaihtoehtoille asettamat reunaehdot, sillä ne ovat vähintään yhtä merkittäviä kuin mitkä tahansa muut rajoitteet. Laajoissa korjausinvestoinneissa on todennäköistä, että elinkaarilaskenta ja vaadittava rahoitus etenevät askel askeleelta kohti lopullista ratkaisuvaihtoehtoa muutaman iteraatiokierroksen kautta.

3.4 Laskennan toteuttaminen

Mekaanisen laskentatyön helpottamiseksi on osana tätä työtä laadittu MS Excel-ohjelmaa käyttäen Elinkaarikustannus-laskentapohja, joka jakautuu elinkaarilaskenta-, herkkyyssanalyysi- ja apulaskentataulukoihin. Haluttaessa laskentaan voidaan käyttää myös valtaosaa elinkaarikus-

tannuksien määrittämistä varten tehtyjä valmisohjelmistoja. Seuraavassa laskentapohja esitellään pääpiirteissään. Sen yksityiskohtaiset käyttöohjeet ovat liitteessä 2.

3.4.1 Elinkaarilaskenta

Elinkaarilaskennan toteutus on selkeyden takia jaettu seuraaviin laskentataulukoihin

1. Yleiset lähtötiedot
2. Kiinteät kustannukset
3. Muuttuvat kustannukset 1
4. Muuttuvat kustannukset 2
5. Tulokset

Muuttuvien kustannusten käsittely on jaettu kahteen osaan helpottamaan käytettävyyteen vaikuttavien seikkojen tarkastelua. Muuttuviin kustannuksiin 1 kuuluvat sellaiset muuttuvat kustannukset, jotka eivät edellytä koneella tehtävää työtä ja jotka eivät siten vaikuta koneen käytettävyyteen. Muuttuviin kustannuksiin 2 kuuluvat puolestaan sellaiset muuttuvat kustannukset, jotka edellyttävät koneella tehtävää työtä ja jotka vaikuttavat suoraan käytettävyyteen.

Ennakoimattomien rakennekorjausten oletetaan olevan ajankohtaisia vasta konetyypin oltua joitakin vuosia käytössä. Täten laskentapohjan mahdollistama 30 vuoden tarkastelujakso, joka on sotilaslentokoneiden tyypillinen käyttöikä, voidaan olettaa riittäväksi.

Tarkastelussa kustannukset annetaan vuositasolla. Diskonttauksen laskennassa on oletettu, että kunkin vuoden tapahtumat toteutuvat samanaikaisesti vuoden lopussa.

Elinkaarilaskennan tulokset on kerätty erilliseen laskentataulukoon. Koska tulosten esittämisessä on paljon erilaisia mahdollisuuksia, annetaan käytettyjen graafisten esitysten tiedot myös numero-muodossa, jotta käyttäjä voi halutessaan tehdä niistä omia esityksiään. Käyttäjän omia esityksiä varten on varattu erillinen laskentataulukko nimeltään Laskijan itse tekemät esitykset.

3.4.2 Herkkyysanalyysi

Elinkaarilaskennassa käytettävät lähtötiedot ovat usein epävarmoja. Tämän takia herkkyysanalyysia pidetään yleisesti laskentaan kiinteästi kuuluvana osana, kuten luvusta 2.4 käy ilmi. Herkkyysanalyysin avulla voidaan tutkia, mikä vaikutus lähtötietojen muutoksilla on laskennan tuloksiin. Näin pystytään tunnistamaan elinkaarikustannusten tai tutkittavien vaihtoehtojen järjestyksen kannalta merkittävät tekijät, jotta niihin osataan tarkastelussa kiinnittää erityistä huomiota.

Herkkyysanalyysi-laskentataulukossa voidaan yhdelle tai useammalle tekijälle antaa prosentti-muutos alkuperäiseen arvoon nähden. Elinkaarilaskennan tuloksiin kauttaaltaan vaikuttavia vari-oitavissa olevia tekijöitä ovat korko, hintakehitys, valuuttakurssit, työtunnit, tuntihinta sekä muut kustannukset. Tämän lisäksi kunkin 45 kiinteän ja muuttuvan kustannustekijän työtunteja ja muita kustannuksia voidaan varioida erikseen. Herkkyysanalyysi-laskentataulukossa ei voi muuttaa toteutusmääriä tai -ajankohtia. Tämä johtuu ensinnäkin siitä, että useimmissa tapauksissa toteu-tusmäärien voidaan olettaa olevan tarkasteltavasta lentokonetyypistä riippuvia vakioita. Toisaalta toteutusmäärien varioiminen edellyttäisi esimerkiksi oppimisen vaikutusten täysin automatisoitua laskentaa, mistä puolestaan aiheutuisi tarve lisätä lähtötietojen määrää nykyisestä. Tämän vuoksi mahdollinen toteutusmäärien tai -ajankohtien varioiminen on tehtävä omana ratkaisunaan erilli-sellä laskentapohjalla.

Varioitavat tekijät voivat periaatteessa muuttua lähes miten tahansa, joskin käytännön vaihteluväli on yleensä rajallinen. Jotta herkkyysanalyysi palvelisi parhaiten tarkoitustaan, kannattaa tekijöitä pyrkiä varioimaan niille odotettavissa olevalla tyypillisellä alueella, eikä esimerkiksi kaikkia sa-massa suhteessa. Vaikka variointivälin valinta on hyvin tapauskohtaista ja olosuhteista riippuvaa, voi seuraavassa esitettyjä lukuja käyttää viitteellisinä arvoina paremman tiedon puuttuessa. Esi-tettävät variointivälit on annettu korolle ja hintakehitykselle absoluuttisina arvoina prosenttiyks-i-koissa. Muille tekijöille on annettu prosenttimuutos alkuperäiseen arvoon nähden. Tämä täytyy ottaa huomioon annettaessa koron ja hintakehityksen muutosta Herkkyysanalyysi-laskentataulu-kossa, jossa kaikki arvot annetaan prosenttimuutoksina alkuperäiseen arvoon nähden.

- Korko

Korkotaso riippuu voimakkaasti talouden tilasta. Esimerkiksi ajanjaksolla 1994 – 2004 on nimellinen korko Suomessa vaihdellut välillä 3,0 – 9,0 % ja kuluttajahintaindeksin avulla mää-ritetty reaalkorko välillä 2,1 – 7,2 % (Valtiokonttori 2005). Esimerkkiajanjakso kattaa nousun 1990-luvun alun lamasta sekä talous- ja rahaliitto EMU:n toiminnan alkamisen, jonka odote-taan vakauttavan talouden vaihteluita. Mainittujen lukujen, integroituvan talouden ja vääjää-mättä koittavien huonojen aikojen perusteella voi nimelliskoron herkkyysanalyysissä koron minimiarvona olla tavanomaisina aikoina esimerkiksi 2 % ja maksimiarvona 10 %. Vastaavat arvot reaalkorolle voivat olla esimerkiksi 1 % ja 9 %.

- Hintakehitys

Kuluttajahintaindeksin perusteella määritetyn inflaation taso on viimeisten 30 vuoden aikana laskenut selvästi ja pysynyt 1990-luvun alun jälkeen 5 %:n alapuolella. Tilanteeseen on ilmei-sesti huomattavasti vaikuttanut EMU-jäsenyys, jonka vaikutukset näkyvät myös jatkossa. Tällä perusteella voi nimellisten hintojen kehityksen herkkyysanalyysissä hintakehityksen mi-nimiarvona olla tavanomaisina aikoina esimerkiksi 0 % ja maksimiarvona 5 %. Vastaavat ar-vot reaalisille hinnoille voivat olla esimerkiksi 0 % ja 2 %.

- Valuuttakurssit

Maailmantalouden toimiessa nykyisistä lähtökohdistaan, voidaan kiinnostuksen kohteena olevilta valuutoilta olettaa tietynasteista vakautta pitkällä aikavälillä. Mikäli tarkasteltavien va-

luuttakurssien voidaan laskentaa tehtäessä katsoa olevan riittävässä tasapainossa, voidaan sopivan vaihteluvälin suuruusluokkana pitää pitkällä aikavälillä esimerkiksi $\pm 10\%$:n muutosta valittuun arvoon nähden. Epävarmuuden lisääntyessä tai tarkastelujakson lyhentyessä vaihteluvälinä voidaan käyttää esimerkiksi $\pm 20\%$.

- Työtunnit

Sellaisten tehtävien työtuntien arvioimista, joista on aikaisempaa kokemusta vastaavissa olosuhteissa, voidaan pitää riskiltään pienenä. Tällöin herkkyysanalyysissa käytetty vaihteluväli voi olla esimerkiksi $\pm 5\%$:n muutos valittuun arvoon nähden. Sellaisten tehtävien lisääntyessä, joista ei ole aikaisempaa kokemusta, myös epävarmuus kasvaa. Lisäksi epävarmuutta voivat kasvattaa esimerkiksi tehtävien monimutkaisuus tai työntekijöiden kokemattomuus. Mikäli riskin katsotaan olevan kohtalainen, voi vaihteluvälinä käyttää esimerkiksi $\pm 30\%$. Riskin kasvaessa edelleen, täytyy vaihteluväliä tapauskohtaisesti kasvattaa. Mahdotonta ei ole, että toteutuneet tunnit poikkeavat useampikertaisesti alkuperäisestä arviosta.

- Tuntihinta

Sellaisten tuntihintojen, joista on aikaisempaa kokemusta, merkittäviä nopeita muutoksia voidaan pitää kohtalaisen epätodennäköisinä. Tämä pätee erityisesti reaalisille tuntihinnoille, joille sovelias vaihteluväli voi olla esimerkiksi $\pm 2\%$:n muutos valittuun arvoon nähden. Nimellisissä tuntihinnoissa muutokset ovat puolestaan todennäköisempiä. Niille vaihteluvälinä voidaan käyttää esimerkiksi $\pm 5\%$. Mikäli tuntihintatasoa ei tunneta, voidaan se yleensä arvioida kohtuullisella tarkkuudella vastaavantasoisien tehtävien perusteella. Tällöin reaalisten tuntihintojen vaihteluväli voi olla esimerkiksi $\pm 10\%$ ja nimellisten $\pm 15\%$.

- Muut kustannukset

Mikäli muut kustannukset ovat entuudestaan tuttuja ja niiden hintakehityksessä ei ole odotettavissa merkittäviä muutoksia, voidaan niihin soveltaa esimerkiksi samoja vaihteluvälejä kuin tuntihinnoille, joista on aikaisempaa kokemusta. Kustannuksiin liittyvien epävarmuustekijöiden lisääntyessä täytyy myös vaihteluväliä kasvattaa. Kohtalaisen riskin vallitessa voi reaalisten hintojen vaihteluvälin suuruusluokkana käyttää esimerkiksi $\pm 20\%$:n muutosta valittuun arvoon nähden. Nimellisille hinnoille muutos voi olla esimerkiksi $\pm 30\%$. Riskin kasvaessa edelleen, täytyy vaihteluväliä tapauskohtaisesti kasvattaa.

Herkkyysanalyysin yhdistetyt tulokset koko tarkastelujaksolta on esitetty numeromuodossa ja kumulatiiviset tulokset graafisesti. Graafisten esitysten tiedot on annettu myös numeromuodossa, jotta käyttäjä voi halutessaan tehdä niistä omia esityksiään.

3.4.3 Apulaskentataulukot

Apulaskentataulukoiden tarkoituksena on auttaa laskijaa muun muassa lähtötietojen, yksittäisten tekijöiden muutoksien vaikutuksien ja tutkittavan ilmiön esiintymisen arvioimisessa. Apulaskentataulukoihin laskija voi helposti antaa lähtötietoja ja siten vaivattomammin tarkastella yksittäisiä

ilmiöitä verrattuna selvästi laajempaan ja siten hidaskäyttöisempään varsinaiseen laskentapohjaan. Apulaskentataulukoissa käsitellään seuraavia tapauksia

- Oppimisen vaikutus

Laskentataulukossa voidaan arvioida oppimisen vaikutusta työhön kuluvaan aikaan, määrittää oppimistekijä käytössä olevan työaikatiedon perusteella sekä laskea tietyn ajanjakson keskimääräinen työhön kuluva aika.

- Nettonykyarvo

Laskentataulukko vastaa huomattavasti supistetussa ja pelkistetyssä muodossa varsinaista elinkaarikustannusten laskentaa. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi nopeiden suuntaa-antavien tarkastelujen tekemiseen.

- Korko

Laskentataulukossa voidaan määrittää arvo joko nimelliskorolle, reaalikorolle tai inflaatiolle, kun näistä kaksi on tunnettuja.

- Todennäköisyys

Laskentataulukossa voidaan arvioida log-normaali-jakautumaa noudattavan ilmiön odotusarvoa, keskihajontaa ja toteutuneiden tapausten lukumäärää.

4 LASKENTAMALLIN SOVELTAMINEN F-18 HORNET -HÄVITTÄJÄN RAKENNEYKSITYISKOHTAAN

4.1 Yleistä

Tässä luvussa sovelletaan edellisessä luvussa esitettyjä menetelmiä ja laskentapohjaa F-18 Hornet -hävittäjän polttoainesäiliötilojen lattialevyissä esiintyneiden väsymisvaurioiden ratkaisuvaihtoehtojen elinkaarikustannusten vertailuun. Koska eri ratkaisuvaihtoehtoista ja niiden teknisestä toteutuksesta ei ole toistaiseksi olemassa yksityiskohtaista tietoa, tehdään tarkastelu käytettävissä olevan tiedon sekä sen pohjalta tehtyjen arvioiden perusteella. Tarkastelussa käytetään kuvan 1 mukaista jaottelua, jossa elinkaarikustannuksiin luetaan ainoastaan ratkaisuvaihtoehtoihin suoraan liittyvät kustannukset, mutta ei erilaisia välillisiä tai laajempia yhteiskunnallisia kustannuksia.

4.2 F-18 Hornet

4.2.1 Konetyypin esittely

F/A-18 Hornet on 1980-luvun alussa käyttöön otettu taktinen lentokone, joka on suunniteltu sekä ilmasta ilmaan että ilmasta maahan -toimintoihin. Tyyppeä käyttävät USA:n laivasto ja merijalkaväki sekä Australian, Espanjan, Kanadan, Kuwaitin, Malesian, Suomen ja Sveitsin ilmavoimat. Valmistaja Boeing on toimittanut koneen A-, B-, C- ja D-malleja USA:han 1048 ja muihin maihin 431 kappaletta. (Boeing 2005) Taulukossa 1 on esitetty tyypin teknisiä tietoja.

Taulukko 1. F-18 Hornetin teknisiä tietoja (Ilmavoimat 2005).

Pituus	17,1 m
Korkeus	4,7 m
Kärkiväli	11,4 m
Tyhjämassa	10 680 kg
Suurin lentomassa	23 540 kg
Suurin nopeus	1,8 Ma / matalalla 1 300 km/h
Lakikorkeus	15 000 m

Suomen ilmavoimissa tyyppimerkinnän F-18 Hornet saanut kone toimii torjuntahävittäjänä. Ensimmäiset seitsemästä kaksipaikkaisesta D-mallin koneesta tuotiin USA:sta marraskuussa 1995. Kaikkien 57 yksipaikkaisen C-mallin loppukokoonpano tehtiin puolestaan Suomessa. Niistä ensimmäinen luovutettiin kesäkuussa 1996 ja viimeinen elokuussa 2000. Nykyisin ilmavoimilla on käytössä 63 Hornetia. (Ilmavoimat 2005)

4.2.2 Vaurioituvaksi oletettavan kohdan esittely

Useassa kymmenessä USA:n laivaston ja ainakin 15 Kanadan ilmavoimien Hornetissa on havaittu rungossa sijaitsevien polttoainesäiliötilojen numero 2 ja 3 lattialevyissä väsymisvaurioita. Ilmaantuneiden säröjen aiheuttajaa ei toistaiseksi tarkasti tunneta, mutta niiden syntymistä epäillään edesauttavan laivastokäytössä tehtävät katapulttilentoonlähdöt. Vaikka Suomen koneilla tehdään vain tavanomaisia lentoonlähtiä, ei ongelman ilmaantumisesta myös niissä voida täysin sulkea pois. (Kettunen 2004, 2)

Lattialevyn säröytymisen suurin riski on siinä, että rikkoutunut lattia voi vaurioittaa sen päällä olevaa polttoainesäiliön kumipussia. Koska koneen koon kurissapitämiseksi tilankäytön on oltava tehokasta, on lattialevyjen alapuolella muun muassa ECS⁶-järjestelmän komponentteja, joiden lämpötila voi olla hyvin korkea. Täten vaurioituneesta säiliöstä mahdollisesti vuotava polttoaine aiheuttaa tulipalovaaran, joka ei ole hyväksyttävissä. Lisäksi säröytyminen pienentää rakenteen lujuutta. (Keinonen 2005)

Vaikka kyseisten vaurioiden ilmaantumisesta Suomen koneisiin ei ole varmuutta, pitää tähän potentiaaliseen uhkaan varautua tavalla tai toisella etukäteen sen mahdollisten seurausvaikutusten vakavuuden takia.

4.3 Ratkaisuvaihtoehto 1: Ei tehdä mitään

Ratkaisuvaihtoehdossa tiedostetaan ongelman olemassaolo ja mahdollisuus ilmaantumiseen tulevaisuudessa, mutta ei ryhdytä käytännön toimenpiteisiin. Tätä vaihtoehtoa voidaan pitää ongelmanratkaisussa yleisesti perustapauksena ja vertailukohtana muille vaihtoehdoille.

Polttoainesäiliötilojen 2 ja 3 lattialevyjen vaurioitumisen suhteen tämä ratkaisuvaihtoehto ei tule käytännössä kysymykseen. Mikäli vian ilmaantumisesta ei etukäteen kartoiteta tai estetä, havaitaan se vasta mahdollisesti polttoainevuodosta tai tulipalosta, joka voi pahimmassa tapauksessa johtaa koneen menetykseen. Näin löytyneeseen vikaan voidaan käytännössä reagoida ainoastaan edellyttämällä kaikki koneet pikaisesti tarkastettaviksi. Mahdollisesti osa kalustosta joudutaan asettamaan lentokieltoon tarkastuksen tekemiseen saakka. Ratkaisuvaihtoehdon 4 työmääräarvioiden perusteella huolloista erillään tehty tarkastus kestää keskimäärin noin 25 työpäivää/kone. Mikäli vikoja löytyy, aiheutuu niiden korjaamisesta ratkaisuvaihtoehdon 3 työmääräarvioiden mukaan keskimäärin noin 35 työpäivän lisäseisokki konetta kohti. Korjausten toteuttaminen edellyttää lisäksi valmistelevia toimenpiteitä, joten niiden aloittaminen heti vikojen löydyttyä ei ole mahdollista.

⁶ Environmental Control System eli koneen ympäristöjärjestelmä

Polttoainesäiliötilojen 2 ja 3 lattialevyjen vaurioitumisen yllättävä ilmaantuminen laskisi Hornet-kaluston käytettävyyttä huomattavasti usean vuoden ajan. Tätä riskiä ei hyvin todennäköisesti voida ottaa. Riskin realisoituessa aiheutuisi tarkastuksista ja korjauksista vielä suuremmat kustannukset, kuin mitä muissa ratkaisuvaihtoehtoissa arvioidaan, sillä työt pitäisi tehdä kiireellä. Lisäksi, mikäli vian ilmaantumisen yhteydessä menetetään yksi kone, aiheutuisi siitä luvun 1.1 perusteella nykyrahassa suuruusluokaltaan noin 30 miljoonan euron lisäkustannus.

4.4 Ratkaisuvaihtoehto 2: Lattialevyjen vaihtaminen muiden korjausten yhteydessä

4.4.1 Ratkaisuvaihtoehdon kuvaus

USA:n laivasto on suunnitellut polttoainesäiliötilojen lattialevyjen vaihtamisen ja toteuttaa sitä kalustoonsa. Ratkaisu on periaatteessa yksinkertainen, sillä siinä vaihdetaan nykyiset levyt parannettuihin. Laivasto on myös tarjonnut suunnitelmaansa sekä tarvittavia osia konetyypin muille käyttäjille. Koska korjaussarjan hinta-arviota voidaan pitää ilmailutarvikkeeksi halpana, ei korjauksen suunnitteleminen ja tosittaminen itse liene perusteltua. (Keinonen 2005)

Vaikka vaihto sinällään on ajatuksena yksinkertainen, on se työläs toteuttaa. Tämä johtuu ensinnäkin siitä, että polttoainesäiliötilojen 2 ja 3 lattioihin on vaikea päästä käsiksi. Lattioiden päällä ovat polttoainesäiliöiden kumipussit, joiden poistaminen ja asentaminen on työlästä. Lattioiden alapuolella on puolestaan paljon erilaisia laitteita, johtonippuja, putkia ja muita vastaavia komponentteja, jotka täytyy poistaa korjauksen takia. Toinen työhön merkittävästi vaikuttava seikka on ahtaus. Vaikka kaikki tarvittavat komponentit on alueelta poistettu, joudutaan työ tekemään suurelta osin rungon sisällä ahtaissa tiloissa. Tämä vaikeuttaa tekemistä sekä vaikuttaa huomattavasti korjauksen läpimenoaikaan, sillä samanaikaisesti työskentelemään mahtuvien henkilöiden määrä on rajoitettu.

Käytettävyyden pienenemisen estämiseksi sekä kaluston ylläpidon hallinnoinnin helpottamiseksi lattialevyjen vaihto kannattaa lähtökohtaisesti pyrkiä yhdistämään koneen normaalihuoltoihin sekä mahdollisiin muihin sellaisiin suunnitteilla oleviin korjauksiin, joilla on yhteisiä työvaiheita. Horneille tehdään 200 lentotunnin välein, eli noin vuosittain, F-huolto. Tarkastelussa oletetaan, että vaihdot voidaan tehdä näiden huoltojen yhteydessä.

Mielenkiinnon kohteena olevalla alueella Hornet-kalustoa on vaivannut myös toinen ennakoimaton rakenneongelma. Tämän niin sanotun Crease Longeron -ongelman korjaaminen ei ole yhtä työläs kuin lattialevyjen vaihtaminen. Näillä korjauksilla on kuitenkin yhteisiä purku- ja kasaustyövaiheita, joten niiden toteuttamista samanaikaisesti voidaan pitää lähtökohtaisesti perusteltuna. (Keinonen 2005)

4.4.2 Aikataulu ja kustannustekijät

Alustavien kaavailujen mukaan lattialevyjen vaihdon toteutusaikataulu voisi olla seuraava: prototyyppiasennus vuonna 2008, vuosina 2009 – 2014 10 konetta vuodessa ja vuonna 2015 viimeiset kaksi konetta (Keinonen 2005). Tarkastelussa käytetään tätä aikataulua.

Seuraavassa käydään yleisellä tasolla läpi kustannustekijät, jotka liittyvät lattialevyjen vaihtoon. Kustannustekijöiden tarkempi jaottelu sekä laskennassa käytettävät arvot on esitetty liitteessä 3.

Kiinteät kustannustekijät ovat

- Projektin valmistelu, työsuunnittelu ja johto
Kyseisten kaikkiin projekteihin liittyvien yleisten työvaiheiden määrä riippuu siitä, kuinka yksityiskohtaiset sekä Suomen olosuhteisiin ja menettelytapoihin soveltuvat korjaussarjat ja sen ohjeet ovat.
- Koulutus
Koska USA:ssa on kyseisiä vaihtoja tehty jo kohtalaisen paljon, kannattaa sieltä suunnittelun ja osien lisäksi pyrkiä ostamaan perehdyttämiskoulutusta korjauksen toteutukseen. Näin voidaan ehkäistä oman korjausprojektin alkuvaikeuksia. Lisäksi, koska korjaus tehdään alueella, jossa pienetkin työvirheet saattavat aiheuttaa suuria ja kalliita lisäkorjauksia, voidaan ennakkoperehtymistä pitää perusteltuna.
- Suunnittelun tuki projektin aloitusvaiheessa
Kokemus on osoittanut, että myös valmiiksi suunniteltujen korjausten käyttäminen edellyttää yleensä oman suunnittelun antamaa tukea projektin aloitusvaiheessa. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että eri maiden koneiden välillä on eroja tai siitä, että eri maissa korjaukset yhdistetään erilaisiksi kokonaisuuksiksi.

Muuttuvat kustannustekijät, joilla ei ole vaikutusta koneiden käytettävyyteen ovat

- Korjaussarjat
- Muut vaadittavat tarvikkeet
Varsinaisten korjaussarjojen lisäksi työssä tarvitaan ylikoon kiinnittimiä, kittiä, maalia ja muita vastaavia tarvikkeita.
- Polttoainesäiliöiden kumipussien toimintakokeet ja korjaukset
Polttoainesäiliöiden kumipusseille edellytetään tehtävän toimintakoe joka kerta kun ne poistetaan koneesta. Tämä johtuu muun muassa siitä, että pussit voivat vaurioitua niitä poistettaessa ja asennettaessa, koska aukot, joiden läpi työ tehdään, ovat pieniä pussien dimensioihin ja taipuisuuteen nähden.

Muuttuvat kustannustekijät, joilla on vaikutusta koneiden käytettävyyteen ovat

- Koneen purkaminen, korjaaminen, kasaaminen ja testaaminen

Nämä työvaiheet jakautuvat ennestään tuttuihin ja tuntemattomiin. Osasta purkamista ei ole aikaisempaa kokemusta tässä mittakaavassa. C-mallin koneiden loppukokoonpanon yhteydessä kasaaminen on periaatteessa opittu, mutta silloin työn tekemisessä oli hieman erilaiset reunaehdot. Lisäksi, koska loppukokoonpanoista on kulunut jo jonkin verran aikaa, joudutaan oppimiskäyrällä palaamaan taaksepäin. Varsinaisista lattialevyjen vaihtamisista ei ole aikaisempaa kokemusta, mutta periaatteessa vastaavia metallirakenteiden korjauksia ja modifikaatioita on Hornetiin sekä muihin konetyyppeihin tehty lukuisia.

- Suunnittelun tuki projektin aikana

Kokemus on osoittanut, että myös korjausten toteutus edellyttää suunnittelun tukea. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että joihinkin koneyksilöihin on saatettu tehdä modifikaatioita tai muita korjauksia, joiden seurauksena standardikorjausten tekeminen ei sellaisenaan onnistu. Suunnittelun tukea tarvitaan myös tilanteissa, joissa työvirheiden takia joudutaan poikkeamaan alkuperäisistä suunnitelmista.

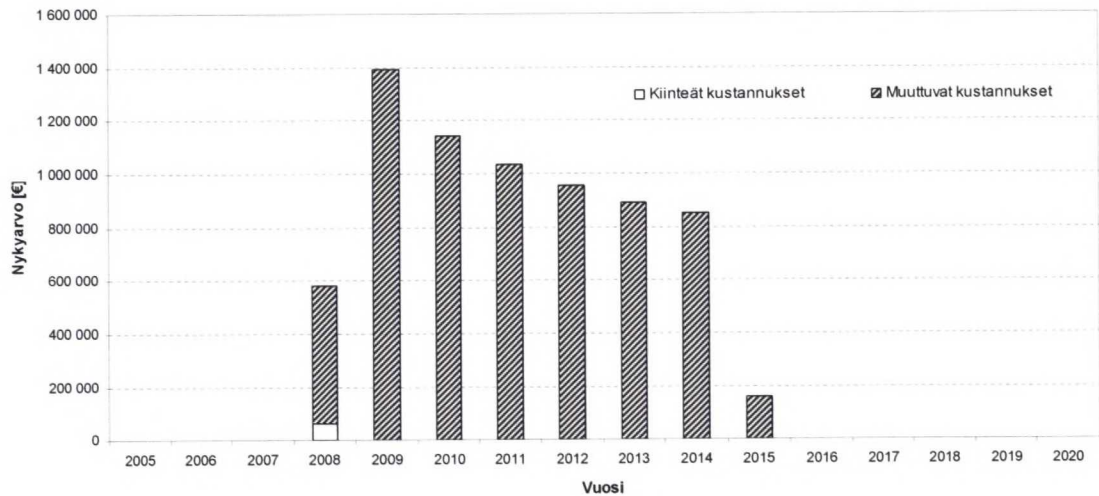
Lattialevyjen vaihtojen jälkeen ongelman ei oleteta aiheuttavan kustannuksia. Esimerkiksi jälkitarkastuksia ei pidetä tarpeellisina. Tämä johtuu ensinnäkin siitä, että vaurioiden ilmaantumisen myötä saadun lisätiedon perusteella lähtökohdat korjaussuunnittelulle ovat paljon paremmat kuin kyseisen kohdan alkuperäistä suunnittelua tehtäessä. Täten on epätodennäköistä, että korjaus olisi ainakaan alkuperäistä rakennetta huonompi. Lisäksi lattialevyjen vaihtoja tehtäessä koneilla on lennetty noin 2000 lentotuntia, joten korjauksilta edellytetään vain noin 4000 lentotunnin ikää. Lisävarmuutta jälkitarkastusten tarpeettomuudesta voidaan saada tutkimalla lattialevyjä vaihdettaessa, kuinka moneen koneeseen Suomen käyttöspektri on mahdollisesti aiheuttanut säröjä. Koska uuden ja vanhan rakenteen väsymisikien suhde on kohtalaisen tarkasti määritettävissä, voidaan laskea todennäköisyys sille, kuinka monta uutta lattiaa tulee vaurioitumaan samalla spektrillä koneen jäljellä olevan eliniän aikana.

4.4.3 Elinkaarikustannusten arvioiminen, herkkyyshanalyysi ja käytettävyys

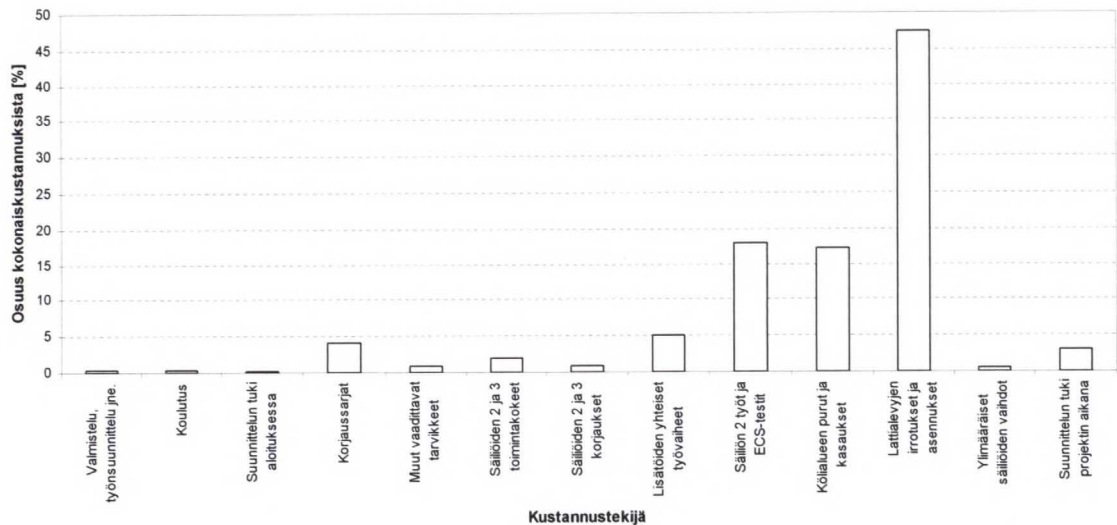
Elinkaarikustannusten laskenta tehdään Elinkaarikustannus-laskentapohjalla liitteessä 3 esitetyillä luvuilla reaaliarvoissa. Relevantteina kustannuksina huomioon otetaan kaikki pelkästään lattialevyjen vaihtoon liittyvät kustannukset sekä puolet lattialevyjen vaihdon ja Crease Longeron -korjauksen yhteisten työvaiheiden kustannuksista. F-huoltoon tai pelkästään Crease Longeron -korjaukseen liittyvät kustannukset ovat tämän tarkastelun kannalta irrelevantteja. Reaalikorkona tarkastelussa on 2,2 % (Valtiokonttori 2005), joka on kuluttajahintaindeksin perusteella määritetty arvo ja jonka voidaan olettaa soveltuvan riittävällä tarkkuudella kaikille työvoimavaltaisen ratkaisuvaihtoehdon kustannustekijöille. Reaalinen hintakehitys oletetaan kaikkien kustannustekijöiden osalta nollassa. Yhdysvaltain dollarin kurssina käytetään 30.6.2005 vallinnutta arvoa 1,2165.

Ratkaisuvaihtoehdon 2 elinkaarikustannusten nykyarvo on 7 018 619 EUR, joka on suuruusluokaltaan noin viidennes yhden koneen menettämisestä aiheutuvista kalustokustannuksista. Elinkaarikustannuksesta kiinteiden kustannusten osuus on 65 763 EUR. Muuttuviin kustannuksiin 2, eli lentokoneiden läsnäoloa edellyttäviin töihin, käytetään 103 791 tuntia. Kustannusten vuosittainen jakautuma on esitetty kuvassa 6 ja kustannustekijöiden osuudet elinkaarikustannuksesta kuvassa 7.

Merkittävimmät kustannustekijät ovat lattialevyjen irrotukset ja asennukset (47,4 %), säiliön 2 työt ja ECS-testit (18,0 %), köliäalueen purut ja kasaukset (17,2 %), lisätöiden yhteiset työvaiheet (5,0 %) sekä korjaussarjat (4,1 %). Kyseiset kustannustekijät kattavat 91,7 % elinkaarikustannuksista, joten herkkyyksanalyysissä keskitytään näiden tekijöiden varioimiseen.



Kuva 6. Ratkaisuvaihtoehdon 2 elinkaarikustannusten vuosittainen jakautuma.



Kuva 7. Ratkaisuvaihtoehdon 2 kustannustekijöiden osuudet elinkaarikustannuksesta.

Neljä suurinta kustannustekijää ovat pelkkää Suomessa tehtävää työtä. Näiden työtehtävien määrään liittyvä arviointiriski vaihtelee kuitenkin huomattavasti. Herkkyysanalyysissa käytetään alku- peräisille työmääräarvioille seuraavia variointivälejä, joiden oletetaan sisältävän myös mahdolliset tuntihintojen muutokset

- lattialevyjen irrotukset ja asennukset: ± 30 %
- säiliön 2 työt ja ECS-testit: ± 5 %
- kölialueen purut ja kasaukset: ± 20 %
- lisätöiden yhteiset työvaiheet: ± 5 %

Kyseiset variointivälit aiheuttavat elinkaarikustannukseen ± 18,8 % vaihtelun.

Korjaussarjojen kustannuksiin sisältyvät ainoastaan USA:sta ostettavat osat. Koska niiden hinta- arvio vaikuttaa kohtuullisen edulliselta, lasketaan elinkaarikustannusten muutos tilanteessa, jossa hinta nousee 100 %. Muutokseen on oletettu sisältyvän myös mahdolliset valuuttakurssivaihtelut. Korjaussarjoista aiheutuvien kustannusten kaksinkertaistuminen kasvattaa ratkaisuvaihtoehdon elinkaarikustannuksia 4,1 %.

Taulukossa 2 on esitetty korjausten keskimääräinen läpimenoaika kunakin toteutusvuonna. Näihin lukuihin sisältyy kolme työpäivää sellaisia F-huollon toimenpiteitä, jotka ovat välttämättömiä korja-usten tekemiselle. F-huoltoon kuuluvia muita toimenpiteitä voidaan tehdä rajoitetusti samanaikai-sesti korjausten kanssa. Mikäli oletetaan, että kyseiset toimenpiteet edistyvät korjausten aikana seitsemän työpäivän edestä, saadaan arvio korjausten aiheuttamalle todelliselle keskimääräiselle käytettävyyden pienenemiselle. Nämä arvot sekä vuosittaiset koko kaluston käytettävyyden pie-nenemiset on myös esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Ratkaisuvaihtoehdon 2 vaikutus kaluston käytettävyyteen.

Ajankohta	Korjausten keskimääräinen läpimenoaika [työpäivä]	Todellinen keskimääräinen käytettävyyden pieneneminen [työpäivä]	Yhteenlaskettu käytettävyyden pieneneminen [työpäivä]
1. vuosi (1 korjaus)	126,5	116,5	116
2. vuosi (10 korjausta)	87,5	77,5	775
3. vuosi (10 korjausta)	71,9	61,9	619
4. vuosi (10 korjausta)	66,2	56,2	562
5. vuosi (10 korjausta)	63,4	53,4	534
6. vuosi (10 korjausta)	61,3	51,3	513
7. vuosi (10 korjausta)	59,8	49,8	498
8. vuosi (2 korjausta)	59,0	49,0	98
		Yhteensä	3 714

4.5 Ratkaisuvaihtoehto 3: Lattialevyjen vaihtaminen erillistyönä

4.5.1 Ratkaisuvaihtoehdon kuvaus, aikataulu ja kustannustekijät

Tämä ratkaisuvaihtoehto on muilta osin vastaava kuin vaihtoehto 2, mutta nyt lattialevyjen vaihtaminen tehdään koko kalustolle huolloista ja muista korjauksista erillään. Pelkästään kaluston käytettävyyden pienenemisen takia vaihtoehto voi tuskin sellaisenaan tulla kysymykseen, joskin on mahdollista, että yksittäisissä tapauksissa näin joudutaan tekemään. Laskennallisesti vaihtoehto antaa kuitenkin hyvän vertailukohdan.

Ratkaisuvaihtoehdon kustannustekijät pysyvät muuttumattomina ja toteutusaikataulun oletetaan olevan sama kuin vaihtoehdossa kaksi. Kustannustekijöille kohdistettavat kustannukset on esitetty liitteessä 4. Relevantteja kustannuksia ovat tässä tapauksessa kaikki lattialevyjen vaihtoon tavalla tai toisella liittyvät kustannukset täysimääräisinä.

4.5.2 Elinkaarikustannusten arvioiminen, herkkyyssanalyysi ja käytettävyys

Elinkaarilaskenta tehdään muuten samoilla oletuksilla kuin ratkaisuvaihtoehdolle 2, mutta nyt käytetään liitteessä 4 esitettyjä lukuja. Ratkaisuvaihtoehdon 3 elinkaarikustannusten nykyarvo on 7 673 464 EUR, jossa kiinteiden kustannusten määrä on pysynyt entisellään eli on 65 763 EUR. Lentokoneiden läsnäoloa edellyttäviin töihin käytetään 114 613 tuntia. Kustannusten vuosittainen jakautuma ja kustannustekijöiden prosenttiosuudet ovat hyvin samankaltaiset kuin ratkaisuvaihtoehdossa 2, joten niitä ei esitetä tässä erikseen. Myös herkkyyssanalyysin esittely on turha ratkaisujen samankaltaisuuden takia.

Taulukossa 3 on esitetty ratkaisuvaihtoehdon 3 vaikutus kaluston käytettävyyteen. Koska lattialevyjen vaihto tehdään muista töistä erillään, ei liitteen 4 lukuihin tarvitse tehdä korjauksia.

Taulukko 3. Ratkaisuvaihtoehdon 3 vaikutus kaluston käytettävyyteen.

Ajankohta	Korjausten keskimääräinen läpimenoaika [työpäivä]	Yhteenlaskettu käytettävyyden pieneneminen [työpäivä]
1. vuosi (1 korjaus)	119,4	119
2. vuosi (10 korjausta)	82,2	822
3. vuosi (10 korjausta)	65,5	655
4. vuosi (10 korjausta)	59,8	598
5. vuosi (10 korjausta)	56,4	564
6. vuosi (10 korjausta)	54,1	541
7. vuosi (10 korjausta)	52,2	522
8. vuosi (2 korjausta)	51,4	103
	Yhteensä	3 924

4.6 Ratkaisuvaihtoehto 4: Lentämisen jatkaminen tarkastuksin

4.6.1 Ratkaisuvaihtoehdon kuvaus

Koska Suomen koneiden polttoainesäiliötilojen lattialevyjen rikkoutumisista ei ole varmuutta, on yksi vaihtoehto lentoturvallisuuden varmistaminen tarkastuksilla. Mikäli vaurioita löydetään, päätetään toimista niiden suhteen tapauskohtaisesti. Tarkastuksiin voidaan yhdistää korjausvalmiuksien pystyttäminen ennakoon, jotta mahdollisissa vikatapauksissa työt voidaan aloittaa mahdollisimman pian. Tässä tarkastellaan kuitenkin pelkkiä tarkastuksia tilanteessa, jossa koneista ei eliniän aikana löydetä kyseessä olevia vikoja.

Polttoainesäiliötilojen lattialevyjen vikojen etenemisnopeuksille ei toistaiseksi ole laskennallisia tai kokeellisia arvioita. USA:ssa ja Kanadassa havaittujen vikojen perusteella tarkastusjakso ei kuitenkaan voi olla yli 400 lentotuntia, joka valitaan jaksoksi tässä tarkastelussa. Koska tarkastaminen edellyttää koneen yhtä laajaa purkamista kuin korjauksetkin, voidaan jaksoa pitää vaadittavaan työmäärään nähden suhteellisen lyhyenä. (Keinonen 2005) Tarkastukset oletetaan tehtävän F-huoltojen yhteydessä erillään erilaisista korjauksista.

4.6.2 Aikataulu ja kustannustekijät

Tarkastusten aloittamisesta ei ole käytettävissä erillisiä suunnitelmia, joten ne oletetaan käynnistettävän samalla aikataululla kuin korjaukset. Oletus on perusteltavissa sillä, että lentoturvallisuuden varmistamismielessä korjaukset ja tarkastukset ovat periaatteessa samanarvoisia. Tarkastukset toistetaan kullekin koneelle joka toinen vuosi. Hornetien oletetaan olevan käytössä vuoteen 2030 asti, jolloin viimeiset tarkastukset tehtäisiin vuonna 2029. Tarkastusten määrän kehittyminen vuodesta 2008 vuoteen 2015 on esitetty taulukossa 4. Vuodesta 2016 lähtien tarkastusten määrä on parillisina vuosina 31 ja parittomina 32. Tarkastuksia tehdään kaikkiaan 597 kappaletta.

Taulukko 4. Tarkastusten lukumäärän kehittyminen.

	Vuosi							
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Tarkastusten lukumäärä	1	10	11	20	21	30	31	32

Kiinteät kustannustekijät ovat

- Projektin valmistelu, työnsuunnittelu ja johto
- Kapasiteetin kasvattaminen

Noin 600 suhteellisen työlään tarkastuksen tekeminen reilun 20 vuoden aikana edellyttää todennäköisesti kapasiteetin lisäämistä eri alueilla. Kiinteitä kustannuksia aiheutuu esimerkiksi mahdollisesta henkilöstön lisäämisestä ja kouluttamisesta sekä huoltotilojen laajentamisesta.

- Suunnittelun tuki projektin aloitusvaiheessa

Vaikka tässä ratkaisuvaihtoehdossa ei korjata mitään, tarvitaan näin laajan projektin käynnistämiseksi yleensä myös suunnittelun tukea.

Muuttuvat kustannustekijät, joilla ei ole vaikutusta koneiden käytettävyyteen ovat

- Polttoainesäiliöiden kumipussien toimintakokeet ja korjaukset
- Kapasiteetin kasvattaminen
Tästä kiinteiden kustannusten yhteydessä esille otetusta kustannustekijästä aiheutuu osaltaan myös muuttuvia kustannuksia.
- Osien kuluminen ja vaurioitumisriski lukuisten purkamisten ja kasaamisen seurauksena
Ratkaisuvaihtoehdo edellyttää monien sellaisten kohtien purkamista ja kasaamista, joita ei muuten tehtäisi ehkä ollenkaan tai ainakaan näin montaa kertaa. Tämä ei paranna osien kuntoa ja aiheuttaa siten korjaus- ja varaosatarpeen lisääntymistä.

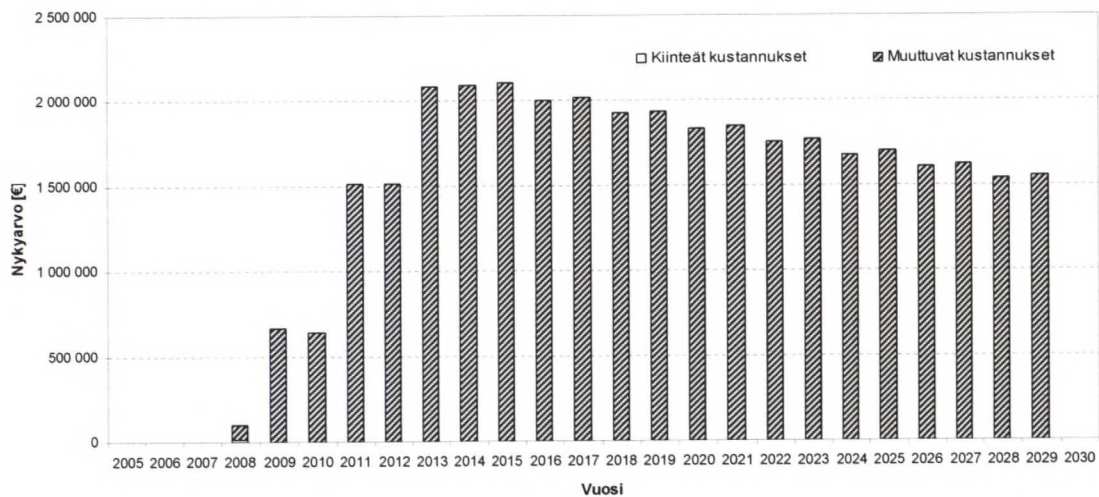
Muuttuvat kustannustekijät, joilla on vaikutusta koneiden käytettävyyteen ovat

- Koneen purkaminen, NDT-tarkastus, kasaaminen ja testaaminen
Koneen purkaminen, kasaaminen ja testaaminen ovat lattialevyjen vaihtamista sekä Crease Longeron -korjauksen toimenpiteitä lukuun ottamatta samoja töitä kuin aikaisemmissa korjausvaihtoehdoissa. Lattialevyjen NDT- eli ainetta rikkomattomilla menetelmillä tehtävä tarkastus on suhteellisen nopea toimenpide. Vastaavia tarkastuksia on tehty Hornetille sekä muille konetyypeille lukuisia.
- Suunnittelun tuki projektin aikana
Suunnittelun tuki oletetaan tarpeelliseksi käsiteltäessä runsaan purkamisen ja kasaamisen aiheuttamia vaikutuksia osien kuntoon.

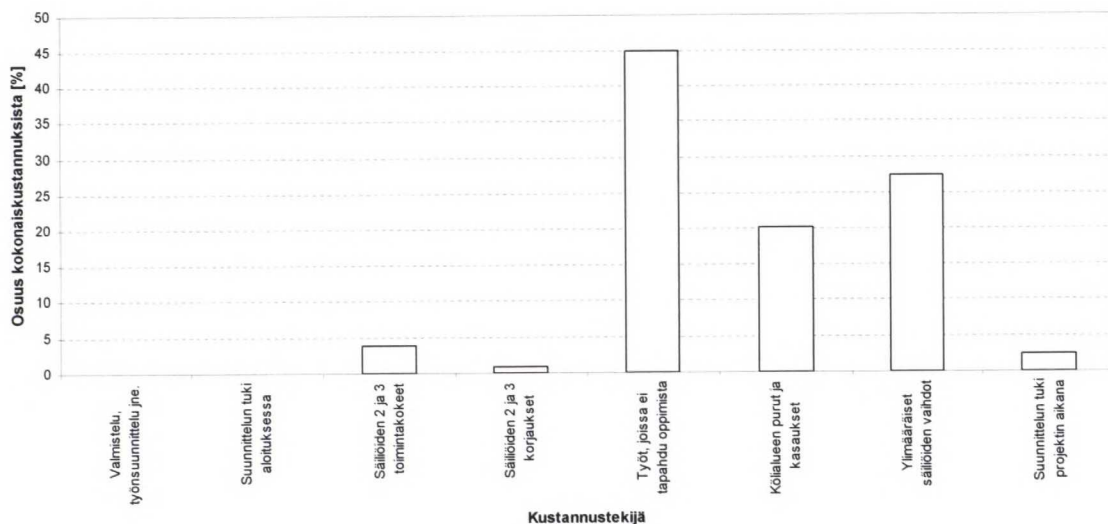
Kustannustekijöille kohdistettavat kustannukset on esitetty liitteessä 5. Relevantteja kustannuksia ovat tässä tapauksessa kaikki F-huollon yhteydessä lattialevyjen tarkastuksen takia tehtävistä lisätöistä aiheutuvat kustannukset.

4.6.3 Elinkaarikustannusten arvioiminen, herkkyyssanalyysi ja käytettävyys

Elinkaarilaskenta tehdään muuten samoilla oletuksilla kuin ratkaisuvaihtoehdolle 2, mutta nyt käytetään liitteessä 5 esitettyjä lukuja. Ratkaisuvaihtoehdon 4 elinkaarikustannusten nykyarvo on 35 468 752 EUR, josta kiinteiden kustannusten osuus on 14 989 EUR. Lukuihin ei sisälly kapasiteetin kasvattamisesta tai osien kulumisesta ja vaurioitumisesta aiheutuvia kustannuksia. Lento-koneiden läsnäoloa edellyttäviin töihin käytetään 657 065 tuntia. Kustannusten vuosittainen jakautuma on esitetty kuvassa 8 sekä kustannustekijöiden osuudet elinkaarikustannuksesta kuvassa 9.



Kuva 8. Ratkaisuvaihtoehdon 4 elinkaarikustannusten vuosittainen jakautuma.



Kuva 9. Ratkaisuvaihtoehdon 4 kustannustekijöiden osuudet elinkaarikustannuksesta.

Merkittävimmät kustannustekijät ovat työt, joissa ei tapahdu oppimista (44,9 %), ylimääräiset säiliöiden vaihdot (27,5 %) sekä köialueen purut ja kasaukset (20,2 %). Kyseiset kustannustekijät kattavat 92,6 % elinkaarikustannuksista, joten herkkyyssanalyysissä keskitytään näiden tekijöiden varioimiseen.

Kaikki suurimmat kustannustekijät ovat pelkkää Suomessa tehtävää työtä. Näiden työtehtävien määrään liittyvä arviointiriski vaihtelee kuitenkin selvästi. Herkkyyssanalyysissä käytetään alku- peräisille työmääräarvioille seuraavia variointivälejä, joiden oletetaan sisältävän myös mahdolliset tuntihintojen muutokset

- työt, joissa ei tapahdu oppimista: $\pm 5 \%$
- ylimääräiset säiliöiden vaihdot: $\pm 5 \%$

- kölialueen purut ja kasaukset: $\pm 20 \%$
- Kyseiset variointivälit aiheuttavat elinkaarikustannukseen $\pm 7,7 \%$ vaihtelun.

Taulukossa 5 on esitetty tarkastusten keskimääräinen läpimenoaika kuutena ensimmäisenä sekä loppuina 16 toteutusvuonna. Olettamalla, että vastaava F-huollon toimenpiteistä aiheutuva korjaus pätee kuin ratkaisuvaihtoehdolle 2, saadaan arvio tarkastusten aiheuttamalle todelliselle keskimääräiselle käytettävyyden pienenemiselle. Nämä arvot sekä vuosittaiset koko kaluston käytettävyyden pienenemiset on myös esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Ratkaisuvaihtoehdon 4 vaikutus kaluston käytettävyyteen.

Ajankohta	Tarkastusten keskimääräinen läpimenoaika [työpäivä]	Todellinen keskimääräinen käytettävyyden pieneneminen [työpäivä]	Yhteenlaskettu käytettävyyden pieneneminen [työpäivä]
1. vuosi (1 tarkastus)	43,1	33,1	33
2. vuosi (10 tarkastusta)	31,4	21,4	214
3. vuosi (11 tarkastusta)	26,1	16,1	177
4. vuosi (20 tarkastusta)	24,4	14,4	288
5. vuosi (21 tarkastusta)	23,3	13,3	280
6. vuosi (30 tarkastusta)	22,6	12,6	377
Kaikki loput (504 tarkastusta)	22,3	12,3	6199
		Yhteensä	7 568

4.7 Toteutettavan ratkaisuvaihtoehdon suosittaminen

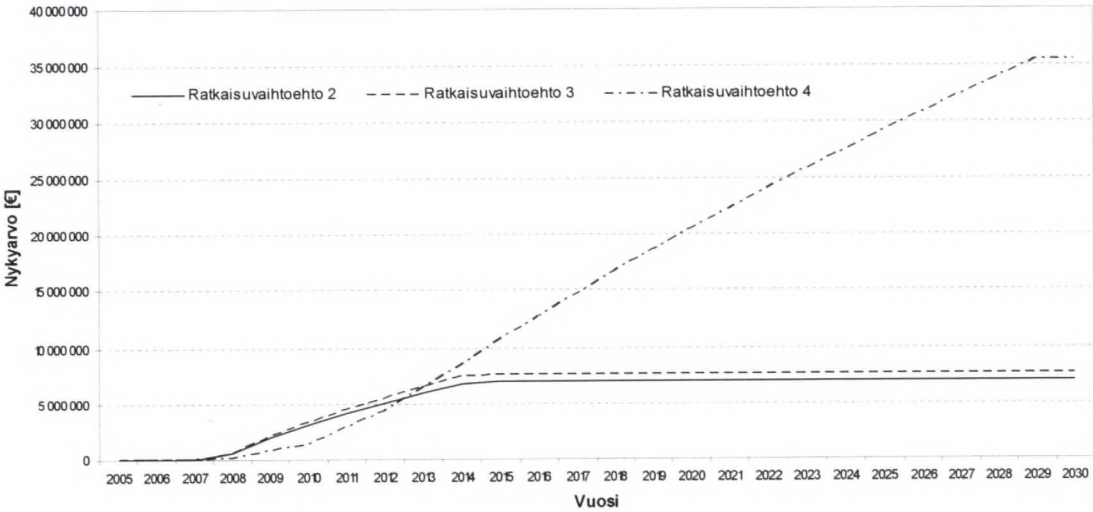
Taulukoon 6 ja kuvaan 10 on kerätty tehdyn vertailun tulokset. Ratkaisuvaihtoehtoa 1 ei ole otettu yhteenvetoon mukaan, sillä siihen liittyvien suureiden määrittäminen vertailukelpoisella tavalla ei ole mahdollista. Lisäksi sen toteuttamista voidaan pitää käytännössä erittäin epätodennäköisenä.

Tulosten perusteella suositeltava ratkaisu on vaihtoehto 2. Taulukon 6 mukaan ero vaihtoehtoon 3 ei ole kovin suuri, mutta lukuja tarkasteltaessa on otettava huomioon, että vaihtoehdon 2 käytettävyyden pienenemiseen sisältyvät myös Crease Longeron -korjauksen vaikutukset. Vaihtoehtoon 3 verrattuna vaihtoehto 2 aiheuttaa alussa enemmän kustannuksia, mutta muuttuu edullisemmaksi jo viidennen toteutusvuoden lopussa. Lisäksi on otettava huomioon, että vaihtoehdon 3 luvuissa eivät näy mahdollisen kapasiteetin kasvattamisesta sekä osien kulumisesta ja vaurioitumisesta aiheutuvat kustannukset. Kaikissa ratkaisuvaihtoehdoissa tehdään paljon samoja työvaiheita ja ne ovat hyvin työvoimavaltaisia, joten lähtötietojen ja arvioiden epätarkkuuksien voidaan olettaa vaikuttavan eri vaihtoehtojen tuloksiin samankaltaisesti.

Olettamalla, että koneilla lennetään keskimäärin 6000 lentotuntia, aiheuttaa ratkaisuvaihtoehdon 2 toteuttaminen noin 20 EUR lisäkustannuksen lentotuntia kohti. Tämä tarkoittaa suuruusluokaltaan noin promillen kasvua luvussa 2.5.3 arvioituun hävittäjän lentotuntihintaan.

Taulukko 6. Ratkaisuvaihtoehtojen tulokset koottuna.

Ratkaisuvaihtoehto	Elinkaarikustannus [kEUR]	Käytettävyyden pieneminen [työpäivä]	Elinkaarikustannus / Käytettävyyden pieneminen [EUR / työpäivä]
2	7 018	3 714	1 890
3	7 673	3 924	1 955
4	35 468	7 568	4 687



Kuva 10. Ratkaisuvaihtoehtojen elinkaarikustannusten muodostuminen tarkastelujaksolla.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkielmassa on tarkasteltu elinkaarilaskennan käyttämistä sotilaslentokoneiden rakenteiden korjausinvestointien vertailuun. Tavoitteena on ollut laatia laskentamalli, jota voidaan käyttää apuna vertailtaessa lentokonetyypille ominaisten ennakoimattomien rakennevaurioiden eri ratkaisuvaihtoehtojen kustannusvaikutuksia.

Erilaisten hankintojen yhteydessä on varsin tavallista, että valintapäätös tehdään yksipuolisesti hankintahinnan perusteella tai että sen merkitys ainakin korostuu. Elinkaarilaskennassa painotetaan kaikkien hankkeeseen liittyvien merkittävien tuottojen ja kustannusten huomioonottamista päätöksenteossa. Menetelmän hyödyt tulevat esille erityisesti tilanteissa, joissa tarkasteltavilla vaihtoehtoilla on toisistaan selkeästi poikkeavat tuotto- tai kustannusprofiilit. Elinkaarilaskenta ei tuo tarkasteluihin mitään teoreettisesti uutta, vaan sillä pyritään lisäämään kustannusten näkyvyyttä ja siten parantamaan tehtävien päätösten laatua.

Vaikka elinkaarilaskenta on omana tieteenalanaan peräisin 1960-luvun alkupuolelta, ei sen käyttö ole yleistynyt odotetulla tavalla. Eräänä syynä tähän pidetään sitä, että menetelmä on kohtalaisen työläs muun muassa sen takia, että se edellyttää runsaasti lähtötietoja. Lähtötiedot, joista osa voi olla vaikea tai jopa mahdoton tarkasti määrittää, vaikuttavat puolestaan suoraan tuloksen laatuun. Täten ylimääräisestä työstä huolimatta lopputulos ei välttämättä ole suppeamman lähestymistavan omaavia menetelmiä parempi.

Tutkielmassa tehdyn laskentamallin laatimisessa käytiin läpi tekijät, jotka ainakin pitää ottaa huomioon tarkasteltaessa rakennevaurioiden ratkaisuvaihtoehtojen kustannuksia. Mekaanisen laskentatyön helpottamiseksi laadittiin laskentapohja. Sekä laskentamalli että -pohja soveltuvat pääosin sinällään myös muiden, erityisesti valtion investointien, elinkaarikustannusten tarkasteluun. Rajoittavia tekijöitä ovat lähinnä makrotason suureiden määrittäminen ja log-normaali-jakautuman käyttö.

Laskentamallissa annetaan ohjeet makrotason suureiden valinnalle valtion investoinneissa. Tämä on mahdollista, sillä kyseisten suureiden valinnalle on yksinkertaiset säännöt. Valittavat suureet eivät kuitenkaan välttämättä ole teoreettisesti oikeita eivätkä ne välttämättä sovellu sellaisenaan valtionhallinnon ulkopuolelle. Juuri yleisten ja käyttökelpoisten makrotason suureiden arviointimenetelmien puuttumisen takia laskentamalli ei ole konstruktivisena tutkimuksena yleispätevä, sillä se ei anna laskijalle tarpeellisia menettelyohjeita muissa kuin valtion investoinneissa.

Log-normaali-jakautuma, jolla ennustetaan väsymisilmiön esiintymistä, pätee kohtalaisen harvoille ilmiöille. Useimmat ilmiöt noudattavat normaalijakautumaa, joka on myös laskettavissa laskentapohjalla yksinkertaisella syöttötietojen muunnoksella. Mikäli laskentamallia ja -pohjaa käytetään

muiden ilmiöiden tarkasteluun, on luonnollisesti otettava huomioon niiden mahdolliset muut erityispiirteet.

Laadittua laskentamallia sovellettiin F-18 Hornet -hävittäjän polttoainesäiliötilojen lattialevyihin mahdollisesti ilmaantuvien väsymissäröjen ratkaisuvaihtoehtojen elinkaarikustannusten vertailuun. Tarkasteltuihin ratkaisuvaihtoehtoihin malli soveltui hyvin, joskin niiden kaikkien kustannusprofiilit olivat kohtalaisen samankaltaisia, joten vaihtoehtojen järjestys oli ennakoitavissa jo lähtötietojen perusteella. Sekä kustannusten että käytettävyyden pienenemisen kannalta edullisimmaksi vaihtoehdoksi osoittautui F-huollossa tehtävä polttoainesäiliötilojen lattialevyjen vaihto samanaikaisesti Crease Longeron -korjauksen kanssa. Esimerkilaskelmassa laskentapohja teki varsinaisen laskentatyön helpoksi, työläintä oli lähtötietojen määrittäminen.

Saatua tulosta voidaan pitää luotettavana eri ratkaisuvaihtojen järjestyksen osalta. Myös vaihtoehtojen elinkaarikustannusten suhteiden voidaan olettaa olevan luotettavia. Oletukset perustuvat siihen, että ratkaisuvaihtoehdoissa tehdään paljon samoja työvaiheita ja ne ovat kaikki hyvin työvoimavaltaisia, joten lähtötietojen ja arvioiden epätarkkuuksien voidaan olettaa vaikuttavan eri vaihtoehtojen tuloksiin samankaltaisesti. Lisäksi kustannusprofiilien samankaltaisuus edesauttaa vaihtoehtojen järjestyksen ja elinkaarikustannusten suhteiden määrittämistä. Koska eri työvaiheiden sisällöstä ei tarkastelua tehtäessä ollut käytettävissä yksityiskohtaista tietoa, eivät määritetyt elinkaarikustannukset ole tarkkoja. Muun muassa tehtyjen herkkyyshanalyyysien perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että niiden suuruusluokka on oikea.

Esimerkilaskelmassa tuli selvästi esille elinkaarilaskennan tietopainotteisuus. Tarkasteltavaan tapaukseen liittyvät merkittävät tuotto- ja kustannustekijät voidaan todennäköisesti useimmiten tunnistaa ja kohtuullisella tarkkuudella arvioida tarkastelua tekevässä organisaatiossa, olettaen, että tarkastelun kohteena on heidän osaamisalueelleen kuuluva toiminta. Erilaisten makrotason suureiden, kuten esimerkiksi korko ja valuuttakurssit, käyttäytymisen ennustaminen on puolestaan vaikeaa ja todennäköisesti useimmille vieras tehtävä. Mikäli elinkaarilaskennan käytön toivotaan merkittävästi laajenevan, tulisi tämäntyyppisten lähtötietojen valintaa pystyä helpottamaan. Keinoina voivat olla esimerkiksi matemaattiset mallit, organisaatioiden sisäiset ohjeet tai erilaisten tietopankkien käyttö.

Tutkielman perusteella elinkaarilaskenta soveltuu sotilaslentokoneiden rakenteiden korjausinvestointien vertailuun. Lähtötietojen runsaudesta ja osaltaan vaikeasta ennustettavuudesta johtuen menetelmä on suhteellisen työläs takaamatta kuitenkaan yksinkertaisempiin lähestymistapoihin nähden merkittävästi tarkempia tuloksia. Elinkaarilaskennan edut perustuvat ennen kaikkea hankkeen kokonaiskuvan muodostumisen parantumiseen ja siten seurannan ja korjaavien toimenpiteiden käytön helpottumiseen.

LÄHTEET

Asiedu, Y. & Gu, P. 1998. Product life cycle cost analysis: state of the art review. *International Journal of Production Research*, 36:4. 883-908.

Barringer, H. Paul & Weber, David P. 1996. *Life Cycle Cost Tutorial*. Fifth International Conference on Process Plant Reliability, Houston.

Blanchard, Benjamin S. 1992. *Logistics Engineering and Management*. Neljäs painos. Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Boeing 2005. www.boeing.com/defense-space/military/fa18. 10.6.2005.

Cole, Raymond J. & Sterner, Eva 2000. Reconciling theory and practice of life-cycle costing. *Building Research & Information*, 28:5. 368-375.

Department of Defence 1983. *Life Cycle Cost in Navy Acquisitions*. MIL-HDBK-259, Washington.

Drury, Collin 2000. *Management & Cost Accounting*. Viides painos. Business Press, Lontoo.

Fabrycky, Wolter J. & Blanchard, Benjamin S. 1991. *Life Cycle Cost and Economic Analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Finnair Oyj 2004. Vuosikertomus 2003.

Francillon, René J. 2003. Concorde Success and Controversy. *AIR International*, 65:6. 30-39.

Fuchs, H. O. & Stephens, R. I. 1980. *Metal Fatigue in Engineering*. John Wiley & Sons, New York.

General Accounting Office 2000. *Defence Acquisitions: Air Force Operating and Support Cost Reductions Need Higher Priority*. GAO/NSIAD-00-165, Washington.

General Accounting Office 2003. *Best Practices: Setting Requirements Differently could Reduce Weapon Systems' Total Ownership Costs*. GAO-03-57, Washington.

Howe, Dennis 2000. *Aircraft Conceptual Design Synthesis*. Professional Engineering Publishing Limited, Lontoo.

Hutton, Bruce R. & Wilkie, William L. 1980. Life Cycle Cost: A New Form of Consumer Information. *Journal Of Consumer Research*, 6:4. 349-360.

Ilmavoimat 2005. www.ilmavoimat.fi/index.php?id=168. 2.6.2005.

Järvenpää, Marko 1998. *Strateginen johdon laskentatoimi ja taloushallinnon muuttuva rooli*. Sarja D-1: 1998. Turun kauppakorkeakoulu, Turku.

Kao, John H. K. 1966. Characteristic Life Patterns and Their Uses. Teoksessa Ireson, W. Grant (toim.) *Reliability Handbook*. 2-1 – 2-18. McGraw-Hill, New York.

Kasanen, Eero & Lukka, Kari & Siitonen, Arto 1991. Konstruktiivinen tutkimusote liiketaloustieteessä. Teoksessa Honko, Jaakko & Kettunen, Pertti & Lerviks, Alf-Erik & Lindström, Caj-Gunnar & Mäkinen, Vesa & Piha, Kalevi & Ruuhela, Reijo & Vaivio, Fedi (toim.) *Liiketaloudellinen Aikakauskirja*, 3:40. 301-329.

Kettunen, Jussi 2004. *HN polttoainesäiliöiden 2 ja 3 lattian analysointi*. HN-L-0053. Patria Aviation, Jämsä. Julkaisematon.

Kinch, M. J. 2003. Life cycle costing in the defence industry. Teoksessa Bull, John W. (toim.). *Life Cycle Costing for Construction*. Taylor & Francis e-Library, Lontoo. 86-100.

Kreyszig, Erwin 1988. *Advanced Engineering Mathematics*. Kuudes painos. John Wiley & Sons, New York.

Neale, Bill & McElroy, Trefor 2004. *Business Finance – a value-based approach*. Pearson Education Limited, Harlow.

Office of Management and Budget 1992. *Guidelines and Discount Rates for Benefit-cost Analysis of Federal Programs*. OMB Circular No. A-94, Washington.

Office of Management and Budget 2004. *Guidelines and Discount Rates for Benefit-cost Analysis of Federal Programs*. OMB Circular No. A-94 Appendix C, Washington.

Pike, Richard & Neale, Bill 1999. *Corporate Finance and Investment*. Kolmas painos. Pearson Education Limited, Harlow.

Raivio, Jyri 2001. Hawkit kuntoon kotikonstein. *Helsingin Sanomat*, 21.5.2001, 138 (36785). C8.

Riistama, Veijo & Jyrkkiö, Esa 1999. *Operatiivinen laskentatoimi*. 16. painos. WSOY, Porvoo.

Sherif, Yosef S. & Kolarik, William J. 1981. Life Cycle Costing: Concept and Practice. *OMEGA The International Journal of Management Science*, 9:3. 287-296.

Stanke, Alexis & Murman, Earl 2002. *A Framework for Achieving Lifecycle Value in Aerospace Product Development*. International Council of Aeronautical Sciences (ICAS) Congress, Ottawa.

Sterner, Eva 2002. *Green Procurement of Buildings; Estimation of Environmental Impact and Life-Cycle Cost*. Väitöskirja. Luulajan tekninen yliopisto.

Suomen Pankki 2005. www.suomenpankki.fi/fin/5_tilastot/5.1_Tilastografiikkaa/index.stm. 25.7.2005.

Taylor W. B. 1981. The Use of Life Cycle Costing in Acquiring Physical Assets. *Long Range Planning*, 14:6. 32-43.

Valtiokonttori 2005. *Valtion euromääräisen pitkäaikaisen lainanoton efektiivinen korkokustannus vuodelle 2005*. Ilmoitus Dnro 34/03/2005, Helsinki.

Vonderembse, Mark A. & White, Gregory P. 1996. *Operations Management; Concepts, Methods and Strategies*. Kolmas painos. West Publishing Company, St. Paul.

Whitford, Ray 1996. Fundamentals of Fighter Design; Part 1 - Requirements. *AIR International*, 50:1. 37-43.

Woodward, David G. 1997. Life cycle costing – theory, information acquisition and application. *International Journal of Project Management*, 15:6. 335-344.

Haastattelut:

Hirvonen Kari, työnjohtaja, Patria Aviation Oy, Halli, huhtikuu – kesäkuu 2005.

Kaukinen Aatos, hankintapäällikkö, Ilmavoimien esikunta, Tikkakoski, 24.2.2005.

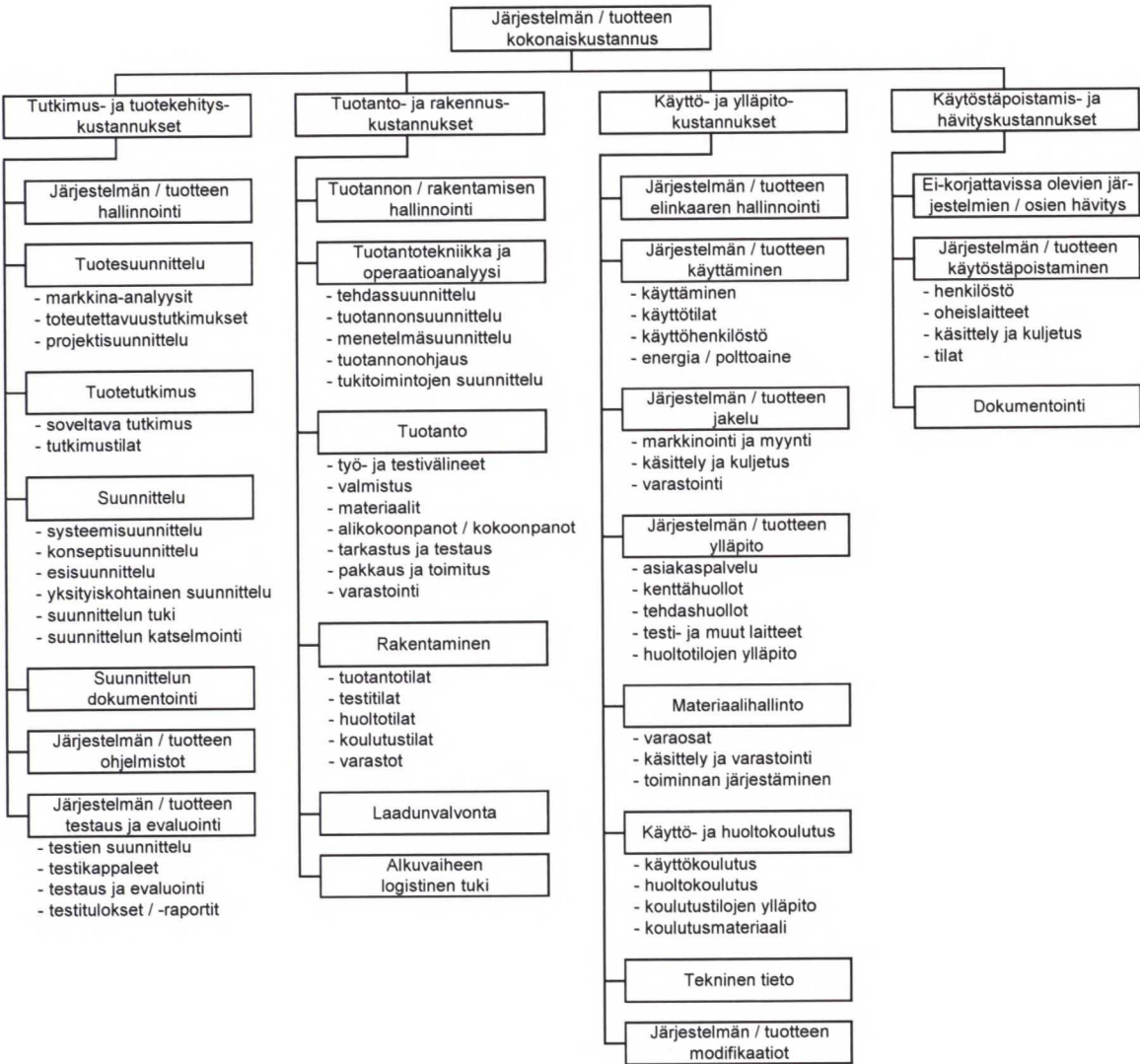
Keinonen Mika, suunnittelupäällikkö, Patria Aviation Oy, Halli, huhtikuu – kesäkuu 2005.

Rinne Taisto, työnsuunnittelun esimies, Patria Aviation Oy, Halli, huhtikuu – kesäkuu 2005.

Suoranta Pekka, työnjohtaja, Patria Aviation Oy, Halli, kesäkuu 2005.

KUSTANNUSTEKIJÖIHIN JAKAMINEN

Tutkittava kohde voidaan jakaa kustannustekijöihin esimerkiksi kuvan 11 mukaan.



Kuva 11. Kustannustekijöihin jakaminen Fabryckyn ja Blanchardin (1991, 28) esitystä mukaillen.

ELINKAARIKUSTANNUS-LASKENTAPOHJAN KÄYTTÖOHJEET

Tässä annetut ohjeet on laadittu olettaen, että käyttäjä hallitsee MS Excel –ohjelman perustoiminnot kuten esimerkiksi kenttien kopioimisen, kaavojen syöttämisen jne.

Kaikissa laskentapohjan taulukoissa tietoa syötetään ainoastaan reunustettuihin kenttiin, joiden tausta on merkitty pistein.

1. Elinkaarilaskenta

Elinkaarilaskennassa tietoja annetaan Yleiset lähtötiedot -, Kiinteät kustannukset -, Muuttuvat kustannukset 1 - ja Muuttuvat kustannukset 2 - taulukoihin. Syy muuttuvien kustannusten jakamiseen kahteen osaan on se, että on haluttu erottaa koneen käytettävyyteen vaikuttamattomat tekijät (eivät edellytä koneella tehtävää työtä) eli Muuttuvat kustannukset 1 koneen käytettävyyteen vaikuttavista tekijöistä (edellyttävät koneella tehtävää työtä) eli Muuttuvista kustannuksista 2. Näin voidaan helpottaa esimerkiksi tarkasteltavan korjauksen vaikutuksen arvioimista koneen käytettävyyteen. Elinkaarilaskennan tulokset on kerätty taulukkoon Tulokset.

Numeromuotoiset syöttötiedot voivat olla erillisiä lukuja tai haluttaessa esimerkiksi tarkasteluvuodesta riippuvia kaavoja. Mikäli syötettävä luku on nolla, voidaan kenttä jättää tyhjäksi. Tämä saattaa olla suositeltavaa syöttötietojen tarkastamisen helpottamiseksi.

Koska sotalaskoneiden rakennekorjauksiin liittyvät varsinaiset tuotot ovat harvinaisia, ei niitä mainita erikseen laskentapohjassa, vaan niiden voidaan ajatella olevan vastakkaismerkkisiä kustannuksia. Täten syöttötietoja annettaessa täytyy kustannukset ja mahdolliset tuotot erotella etumerkein toisistaan. Suositeltavaa on merkitä kustannukset positiivisiksi, jolloin syöttötietojen antaminen on vaivattomampaa. Tällöin nimikkeissä, joista koituu tuottoja, täytyy joko työtunnit tai tuntihinnat sekä muut kustannukset antaa negatiivisina.

Laskentaa aloitettaessa on syytä tarkastaa, että taulukoissa ei ole jäljellä vanhoja tietoja.

1.1 Yleiset lähtötiedot

Yleisinä lähtötietoina annetaan seuraavat tiedot

1. Tarkasteltavan tapauksen nimi
2. Päivämäärä

3. Tarkasteluvuosi

Käyttäjä voi antaa tarkasteluvuoden vuosiluvun, josta ohjelma laskee muut vuodet. Vuosilukujen tarkoituksena on helpottaa tapahtumien kytkemistä todellisiin ajankohtiin. Mikäli vuosilukua ei haluta antaa, kannattaa ruutu jättää tyhjäksi, jolloin luvut kuvaavat vuosissa laskettua aikaa tarkasteluhetkestä.

4. Tarkastelutapa

Käyttäjän täytyy määrittää, käytetäänkö laskennassa reaali- vai nimellisarvoja. Tämän perusteella ohjelma pyytää jatkossa tarvittavat korko-, hintakehitys-, tuntihinta- sekä muut kustannustiedot joko reaali- tai nimellisarvoisina.

5. Korko

Käyttäjän täytyy antaa vuosittainen korko vähintään siihen vuoteen asti, jolloin on tarkasteltavan tapauksen viimeinen kassavirtatapahtuma. Valitun tarkastelutavan perusteella ohjelma pyytää koron joko nimellis- tai reaaliarvoisena. Korko voi olla joko kiinteä tai muuttuva.

Kiinteät kustannukset -, Muuttuvat kustannukset 1 - ja Muuttuvat kustannukset 2 -taulukoiden syöttötietojen antamisen helpottamiseksi korko kannattaa valita siten, että se pätee mahdollisimman monelle kustannustekijälle. Tällöin esimerkiksi reaaliarvoissa tehtävässä tarkastelussa kannattaa yleensä koroksi antaa reaalikorko, joka on määritetty nimelliskorosta käyttäen yleistä inflaatiota. Yksittäisten kustannustekijöiden korkoa voidaan tarvittaessa muuttaa niiden syöttötietojen antamisen yhteydessä.

6. Hintakehitys

Mikäli laskennassa käytetään tuntihintoja tai toteutusta tai konetta kohti annettavia muita kustannuksia, täytyy käyttäjän antaa vuosittainen hintakehitys vähintään siihen vuoteen asti, jolloin on tarkasteltavan tapauksen viimeinen tällainen kassavirtatapahtuma. Valitun tarkastelutavan perusteella ohjelma pyytää hintakehityksen joko nimellis- tai reaaliarvoisena.

Kiinteät kustannukset -, Muuttuvat kustannukset 1 - ja Muuttuvat kustannukset 2 -taulukoiden syöttötietojen antamisen helpottamiseksi hintakehitys kannattaa valita siten, että se pätee mahdollisimman monelle kustannustekijälle. Täten esimerkiksi nimellisarvoissa tehtävässä tarkastelussa kannattaa yleensä hintakehitykseksi antaa yleinen inflaatio. Yksittäisten kustannustekijöiden hintakehitystä voidaan tarvittaessa muuttaa niiden syöttötietojen antamisen yhteydessä.

7. Valuuttakurssit

Mikäli kustannuksia annetaan vieraissa valuutoissa, täytyy käyttäjän antaa laskentateknisistä syistä koko ajanjaksolle valuuttakurssit. Valuuttakurssien oikeellisuudella on merkitystä ainoastaan niinä vuosina, jolloin on kyseisessä valuutassa tapahtuvia kassavirtatapahtumia. Yhdysvaltain dollarille (USD) ja Ison-Britannian punnalle (GBP) on varattu omat rivit. Lisäksi käyttäjä voi nimetä ja antaa valuuttakurssin kolmannelle valuutalle. Annettavat valuuttakurssit kuvaavat yhden euron arvoa kyseisessä valuutassa eli kuinka paljon kyseistä valuuttaa saadaan yhdellä eurolla.

Koron, hintakehityksen sekä valuuttakurssien käyttäytyminen esitetään myös graafisesti. Tämän tarkoituksena on ennen kaikkea helpottaa mahdollisten syöttötietovirheiden havaitsemista.

1.2 Kiinteät kustannukset

Taulukossa voidaan antaa tietoja 15 kiinteästä kustannustekijästä. Annettavat tiedot ovat

1. Nimi

2. Valuutta

Annettu valuutta määrittää, missä yksikössä tuntihinta ja muut kustannukset ilmoitetaan. Valuutan lyhenteenä täytyy olla EUR, USD, GBP tai yleisissä lähtötiedoissa käyttäjän nimeämä valuutta.

3. Työtunnit

4. Tuntihinta

Tuntihinta annetaan edellä ilmoitetussa valuutassa ensimmäiselle tarkasteluvuodelle. Valitun tarkastelutavan perusteella ohjelma pyytää tuntihinnan joko nimellis- tai reaaliarvoisena.

5. Muut kustannukset

Erikseen hinnoitellun työn lisäksi käyttäjä voi antaa tarkasteltaville vuosille myös muita kustannuksia edellä ilmoitetussa valuutassa. Valitun käsittelytavan perusteella ohjelma pyytää muut kustannukset joko nimellis- tai reaaliarvoisina.

6. Poikkeava korko

Mikäli yleisissä lähtötiedoissa annettu korko ei sovellu tarkasteltavalle kustannuserälle, käyttäjä voi muuttaa erän laskennassa käytettävää korkoa. Valitun tarkastelutavan perusteella ohjelma kysyy poikkeavaa korkoa joko nimellis- tai reaaliarvoisena. Muutos voidaan tehdä joko yksittäisille vuosille tai koko ajanjaksolle.

Poikkeavan koron antaminen voi olla tarpeellista esimerkiksi tilanteessa, jossa yleisissä lähtötiedoissa on annettu reaalikorko, joka on määritetty nimelliskorosta Suomen kuluttajahintaindeksin avulla, mutta tarkasteltavan tuotteen tai palvelun hintakäyttäytyminen poikkeaa tästä merkittävästi. Näin voi olla esimerkiksi ulkomailta hankittavilla tuotteilla tai palveluilla.

Ohjelman tunnistessa, että jossain rivin kentässä on nollasta poikkeava luku, ottaa se tämän luvun kyseisen vuoden koroksi. HUOM. Mikäli käyttäjä haluaa muuttaa jonkin vuoden koron nollassi, täytyy hänen antaa kyseisen vuoden koroksi o-kirjain.

7. Poikkeava hintakehitys

Mikäli yleisissä lähtötiedoissa annettu hintakehitys ei sovellu tarkasteltavalle kustannuserälle, käyttäjä voi muuttaa erän laskennassa käytettävää hintakehitystä. Valitun tarkastelutavan perusteella ohjelma kysyy poikkeavaa hintakehitystä joko nimellis- tai reaaliarvoisena. Muutos voidaan tehdä joko yksittäisille vuosille tai koko ajanjaksolle.

Ohjelman tunnistessa, että jossain rivin kentässä on nollasta poikkeava luku, ottaa se tämän luvun kyseisen vuoden hintakehitykseksi. HUOM. Mikäli käyttäjä haluaa muuttaa jonkin vuoden hintakehityksen nollassi, täytyy hänen antaa kyseisen vuoden hintakehitykseksi o-kirjain.

Annettujen tietojen perusteella ohjelma ilmoittaa jokaisesta kiinteästä kustannustekijästä

1. Kunkin vuoden diskonttauskoron
2. Kunkin vuoden diskonttauskertoimen
3. Kunkin vuoden hintakehityksen
4. Kunkin vuoden tuntihinnan siinä valuutassa, jossa se on annettu
Vuotuinen tuntihinta lasketaan syöttötietona annetun ensimmäisen tarkasteluvuoden tuntihinnan ja kunkin vuoden hintakehityksen perusteella.
5. Kunkin vuoden diskonttaamattoman kassavirran euroissa
6. Kunkin vuoden diskontatun nykyarvon euroissa
7. Tarkasteluajan työtuntien määrän
8. Tarkasteluajan nykyarvon euroissa
9. Kunkin vuoden diskonttaamattoman kassavirran graafisesti esitettynä
Tämän tarkoituksena on ennen kaikkea helpottaa mahdollisten syöttötietovirheiden, esimerkiksi etumerkkivirheiden, havaitsemista.

Ohjelman ilmoittamat tiedot ovat osaltaan syöttötietojen toistoa ja ne ovat laajemmat kuin mitä laskija normaalisti tarvitsee. Mahdollisten ongelmatapauksien varalta tietojen laaja esittäminen on kuitenkin perusteltua.

Viimeisen kiinteän kustannustekijän jälkeen ohjelma laskee yhteen kunkin vuoden kiinteiden kustannusten sekä koko tarkasteluajan kiinteiden kustannusten nykyarvon. Lisäksi esitetään graafisesti kunkin kiinteän kustannustekijän nykyarvo tarkasteluajalta sekä kaikkien kiinteiden kustannusten vuotuiset yhteenlasketut nykyarvot.

1.3 Muuttuvat kustannukset 1

Tässä taulukossa määritellään muuttuvat kustannustekijät, jotka eivät edellytä lentokoneella tehtävää työtä ja jotka eivät siten vaikuta koneen käytettävyyteen.

Käytettävyyteen vaikuttamattomien muuttuvien kustannusten aluksi annetaan tyypilliset toteutusten määrät (esimerkiksi valmistettavien varaosien määrä) kunakin vuonna. Syöttötietojen antamisen helpottamiseksi kannattaa toteutusten vuotuiset määrät valita siten, että ne pätevät mahdollisimman monelle taulukon kustannustekijälle. Yksittäisten kustannustekijöiden toteutusten määrää voidaan tarvittaessa muuttaa niiden syöttötietojen antamisen yhteydessä.

Tietoja voidaan antaa 15 käytettävyyteen vaikuttamattomasta muuttuvasta kustannustekijästä. Annettavia tietoja koskevat työtunteja sekä muita kustannuksia lukuun ottamatta kohdassa 1.2 todetut seikat sekä annetut ohjeet. Tässä taulukossa annettavat työtunnit ovat tarkasteltavan vuoden keskimääräiset työtunnit yhtä toteutuskertaa kohti. Oppimisen vaikutusta voidaan arvioida

sekä laskea syötettävä arvo Oppiminen-aputaulukon avulla. Myös mahdolliset muut kustannukset annetaan toteutuskertaa kohti ja ainoastaan ensimmäiselle tarkasteluvuodelle.

Työtunteja ja muita kustannuksia koskevien muutosten lisäksi syöttötietoihin on lisätty mahdollisuus muuttaa kustannustekijän vuotuisia toteutusten määriä taulukon alussa annettuihin nähden. Muutos voidaan tehdä joko yksittäisille vuosille tai koko ajanjaksolle. Ohjelman tunnistessa, että jossain rivin kentässä on nollasta poikkeava luku, ottaa se tämän luvun kyseisen vuoden toteutusten määräksi. HUOM. Mikäli jonkin vuoden toteutusten määrä halutaan muuttaa nollassa, täytyy kyseisen vuoden toteutusten määräksi antaa o-kirjain.

Annettujen tietojen perusteella ohjelma ilmoittaa kullekin kustannustekijälle samat seikat kuin kiinteiden kustannusten yhteydessä. Lisäksi nyt ilmoitetaan toteutusten vuotuinen määrä, muiden kustannusten vuotuinen arvo toteutusta kohti siinä valuutassa, jossa muut kustannukset on annettu, sekä toteutusten kokonaismäärä tarkasteluajalla. Muiden kustannusten vuotuinen arvo toteutusta kohti lasketaan syöttötietona annetun ensimmäisen tarkasteluvuoden arvon ja kunkin vuoden hintakehityksen perusteella.

Viimeisen käytettävyyteen vaikuttamattoman muuttuvan kustannustekijän jälkeen ohjelma ilmoittaa vastaavat seikat kuin kiinteille kustannuksille.

1.4 Muuttuvat kustannukset 2

Tässä taulukossa määritellään muuttuvat kustannustekijät, jotka edellyttävät lentokoneella tehtävää työtä ja jotka vaikuttavat siten koneen käytettävyyteen.

Käytettävyyteen vaikuttavien muuttuvien kustannusten aluksi annetaan koneille tehtävät toteutusten määrät kunakin vuonna (esimerkiksi korjattavien koneiden määrä). Myös nyt syöttötietojen antamisen helpottamiseksi kannattaa toteutusten vuotuiset määrät valita siten, että ne pätevät mahdollisimman monelle taulukon kustannustekijälle. Yksittäisten kustannustekijöiden toteutusten määrää voidaan tarvittaessa muuttaa niiden syöttötietojen antamisen yhteydessä.

Tietoja voidaan antaa 15 käytettävyyteen vaikuttavasta muuttuvasta kustannustekijästä. Annettavia tietoja koskee työtunteja sekä muita kustannuksia lukuun ottamatta kohdassa 1.3 todetut seikat. Tässä tarkasteltavan vuoden keskimääräiset työtunnit ja mahdolliset muut kustannukset annetaan konetta kohti.

Annettujen tietojen perusteella ohjelma ilmoittaa kullekin kustannustekijälle samat seikat kuin käytettävyyteen vaikuttamattomien muuttuvien kustannusten yhteydessä. Lisäksi ilmoitetaan työtuntien vuotuinen määrä.

Viimeisen käytettävyyteen vaikuttavan muuttuvan kustannustekijän jälkeen ohjelma ilmoittaa vastaavat seikat kuin käytettävyyteen vaikuttamattomille muuttuville kustannuksille. Lisäksi ilmoitetaan myös vuotuiset kokonaistunnit ja tarkastelujakson kokonaistunnit.

1.5 Elinkaarilaskennan tulokset

Taulukkoon Tulokset on kerätty taulukoiden Kiinteät kustannukset, Muuttuvat kustannukset 1 ja Muuttuvat kustannukset 2 tulosten graafiset esitykset. Lisäksi esitetään graafisesti kunkin kustannustekijän prosenttiosuus kokonaiskustannuksista, kaikkien nimikkeiden vuotuiset yhteenlasketut nykyarvot kiinteät ja muuttuvat tekijät eriteltynä sekä koko tarkastelujakson aikainen elinkaarikustannusten kumulatiivinen netto nykyarvo. Taulukossa annetaan graafisiin esityksiin liittyvät tiedot myös teksti- ja numeromuodossa, jotta käyttäjä voi tehdä tuloksista omia esityksiään.

2. Herkkyysanalyysi

Elinkaarilaskennan herkkyysanalyysin lähtötiedot annetaan ja tulokset esitetään Herkkyysanalyysi-*taulukossa*.

Lähtötiedot on jaettu neljään ryhmään: Yhteiset tiedot, Kiinteät kustannukset, Muuttuvat kustannukset 1 ja Muuttuvat kustannukset 2. Annettavat luvut ovat prosenttimuutoksia alkuperäiseen tai alkuperäisiin arvoihin. Väärinymmärrysten välttämiseksi on syytä korostaa, että myös korkoon ja hintakehitykseen tehdään prosenttimuutos (eli ne kerrotaan tekijällä $(1 + (\text{Annettu luku} / 100))$) eikä annetun luvun mukaista prosenttiyksikkömuutosta (eli niihin lisättäisiin annettu luku). Mikäli varioitavalla tekijällä on arvoja eri vuosina, muutetaan kaikkia arvoja samassa suhteessa. Tapauksissa, joissa syötettävä luku on nolla, voidaan kenttä jättää tyhjäksi. Tämä saattaa olla suositeltavaa syöttötietojen tarkastamisen helpottamiseksi.

Yhteisissä tiedoissa voidaan

- korolle
- hintakehitykselle
- jokaiselle valuuttakurssille
- työtunneille
- tuntihinnoille sekä
- muille kustannuksille

antaa prosenttimuutoksia alkuperäisille arvoille. Yhteisissä tiedoissa annetut arvot vaikuttavat kaikkiin kustannustekijöihin.

Kiinteissä kustannuksissa sekä molemmissa muuttuvien kustannusten ryhmissä voidaan antaa prosenttimuutos kunkin kustannustekijän työtunneille sekä muille kustannuksille. Mikäli myös yh-

teisissä tiedoissa on annettu kyseisille tekijöille muutos, on muutoksen kokonaissuuruus eri muutosten tulo $(1 + (\text{Yhteisten tietojen arvo} / 100)) * (1 + (\text{Kustannustekijälle annettu arvo} / 100))$. Tapauksissa, joissa yksittäisille kustannustekijöille halutaan antaa yhteisistä tiedoista poikkeava muutos, voidaan syötettävä arvo laskea kaavasta

$$\text{Syötettävä arvo} = \frac{100 \times (\text{Haluttu arvo} - \text{Yleisten lähtötietojen arvo})}{(\text{Yleisten lähtötietojen arvo} + 100)} \quad (13)$$

Mikäli käyttäjällä on epäselvyyttä siitä, millaisen muutoksen herkkyyssanalyyysissa annetut syöttötiedot alkuperäiseen arvoon aiheuttavat, voi hän tarkastaa asian Laskentataulukoiden 1 -laskentataulukosta. Kyseinen taulukko, joka sisältää herkkyyssanalyyysin toteutuksen, on yksi kolmesta taulukosta, joihin on siirretty sellaisia toimintoja, jotka eivät välttämättä ole laskijan ensisijaisen mielenkiinnon kohteena.

Syöttötietojen antamisen jälkeen ohjelma ilmoittaa kiinteille kustannuksille, molemmille muuttuvien kustannusten ryhmälle sekä kaikille kustannuksille alkuperäisen ja herkkyyssanalyyysin tuloksen sekä muutoksen prosentteina. Lisäksi kaikille kustannusryhmille esitetään kustannusten kumulatiivinen nettonykyarvo graafisesti sekä vastaavat tiedot myös teksti- ja numeromuodossa, jotta käyttäjä voi tehdä tuloksista omia esityksiään.

3. Apulaskentataulukot

3.1 Oppiminen

Oppiminen-apulaskentataulukon avulla voidaan tarkastella ja arvioida oppimisen vaikutusta työhön kuluvaan aikaan. Käyttäjä voi antaa lähtötietoina työhön ensimmäisellä kerralla kuluva ajan sekä kaksi eri oppimistekijää. Ohjelma laskee työhön kuluva ajan sekä kumulatiivisen kokonaisajan vaihtelevin askelin aina 500 toistokertaan asti molemmilla oppimistekijöillä. Työhön kuluva aika on esitetty myös graafisesti 100 toistokertaan asti.

Käyttäjä voi myös arvioida oppimistekijää mitatun työaikatiedon perusteella. Syöttötietoina tällöin tarvitaan ensimmäisellä kerralla työhön kuluva aika, sen toistokerran numero, jolta työhön kuluva aika halutaan lisäksi antaa sekä kyseisellä kerralla työhön kuluva aika. Näiden tietojen perusteella ohjelma määrittää oppimistekijän.

Elinkaarilaskennan laskentataulukot edellyttävät muuttuvien tuottojen ja kustannusten osalta syöttötietoina työtunteja, jotka ovat tarkasteltavan vuoden keskimääräiset työtunnit yhtä koneyksilöä kohti. Käyttäjä voi määrittää syötettävän arvon Oppiminen-apulaskentataulukon avulla. Syöttötietoina tarvitaan ensimmäisellä kerralla työhön kuluva aika, oppimistekijä, kuinka monta

kertaa työ on tehty ennen tarkastelujakson alkua sekä kuinka monta kertaa työ tehdään tarkastelujaksolla. Näiden tietojen perusteella ohjelma laskee tarkastelujaksolla työhön kuluvan keskimääräisen ajan.

3.2 Nettonykyarvo

Nettonykyarvo-apulaskentataulukko on tarkoitettu yksinkertaisten, nopeiden laskelmien sekä koekielujen tekemiseen.

Käyttäjän antamat numeromuotoiset syöttötiedot voivat myös tässä taulukossa olla erillisiä lukuja tai haluttaessa esimerkiksi tarkasteluvuodesta riippuvia kaavoja. Mikäli kenttään syötettävä luku on nolla, voidaan kenttä jättää vaihtoehtoisesti tyhjäksi. Käyttäjän täytyy syöttötietoja antaessaan erotella tuotot ja kustannukset etumerkein. Mikäli kustannukset ovat tarkastelussa enemmistönä, kannattaa ne merkitä positiivisiksi, jolloin syöttötietojen antaminen on vaivattomampaa.

Vaihtoehtojen vertailussa voidaan tarkastella kahta tapausta 30 vuoden jaksolla. Lähtötietoina annetaan seuraavat tiedot

1. Korko

Käyttäjän täytyy antaa korko aina siihen vuoteen asti, jolloin on tarkasteltavien tapauksien viimeinen kassavirtatapahtuma. Korko voi olla nimellis- tai reaalikorko sen mukaan, käytetäänkö laskennassa nimellis- vai reaalisuureita. Lisäksi se voi olla vakio tai muuttuva.

2. Vaihtoehtojen A ja B kassavirrat

Molempien vaihtoehtojen vuotuiset kassavirrat voidaan jakaa kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin.

Ohjelma laskee kunkin vuoden diskonttauskertoimen, molemmille vaihtoehdoille vuotuiset diskonttaamattomat kustannukset sekä niiden nykyarvot, koko ajanjakson diskonttaamattomat kustannukset ja nettonykyarvot. Tuloksista esitetään graafisesti molempien vaihtoehtojen vuotuiset diskonttaamattomat kassavirrat ja kumulatiiviset nettonykyarvot.

Käytettävän koron vaikutuksen tarkastelussa lähtötietona annetaan kaksi eri korkoa tarkasteltavalle ajalle. Näiden perusteella ohjelma laskee kummallekin vuotuiset diskonttauskertoimet. Vaihtoehdoille A ja B lasketaan molemmilla koroilla vuotuiset nykyarvot sekä koko ajanjakson nettonykyarvot. Tuloksista esitetään graafisesti vaihtoehtojen A ja B kumulatiiviset nettonykyarvot kummallakin koron arvolla.

3.3 Korko

Korko-apulaskentataulukon avulla voidaan kaavaa 7 käyttäen laskea nimelliskorko, reaalikorko tai inflaatio, kun näistä kaksi tunnetaan.

3.4 Todennäköisyys

Todennäköisyys-apulaskentataulukon avulla voidaan arvioida tarkasteltavan rakenteen elinikää log-normaali-jakautumalla. Mikäli käyttäjä ei tiedä lähtötietona tarvittavia odotusarvoa μ ja keskihajontaa σ , voidaan niille ensin muodostaa approksimaatioina otoskeskiarvo ja -keskihajonta. Otoskeskiarvon ja -keskihajonnan laskemiseksi käyttäjä voi antaa korkeintaan 40 rakenteen elinikän havaintotulosta x_i .

Lähtötietoina annettavien odotusarvon ja keskihajonnan perusteella ohjelma piirtää log-normaali-jakautuman kertymäfunktion sekä muuttujan z ($= \ln x$) että x funktiona. Käyttäjä voi antaa jommallekummalle tai molemmille muuttujille arvon, jonka perusteella ohjelma laskee, kuinka suuri osuus rakenteista on siihen mennessä rikkoutunut. Arvion tulosta voidaan käyttää apuna kustannusten ajallisessa kohdistamisessa.

F-HUOLLON JA CREASE LONGERON -KORJAUKSEN YHTEY- DESSÄ TEHTÄVÄÄN LATTIALEVYJEN VAIHTAMISEEN LIITTY- VÄT KUSTANNUKSET

Tässä liitteessä esitetään arviot F-huollon ja Crease Longeron -korjauksen yhteydessä tehtävään lattialevyjen vaihtamiseen liittyvien kustannustekijöiden kustannuksista. Kustannukset saatetaan ilmoittaa eri kustannustekijöille toisistaan poikkeavalla tavalla. Tällöin on tarkoituksena lähinnä demonstroida erilaisia lähtötietojen syöttämismahdollisuuksia laskentapohjassa.

Laskennassa käytetään asennus-, tarkastus- ja teknikkotyön tuntihintana 70 €/h sekä suunnittelu- ja insinöörityön tuntihintana 100 €/h.

Kiinteät kustannukset

Projektin valmistelu, työsuunnittelu ja johto

Olettamalla ostettavan korjaussarjan ja sen ohjeiden olevan helposti Suomen olosuhteisiin ja menettelytapoihin sovellettavia sekä vaadittavien omien työvaiheluetteloiden kohtalaisen pelkistettyjä, arvioidaan tarvittavaksi työmääräksi 300 tuntia (Rinne 2005). Näiden kustannusten voidaan olettaa kohdistuvan ensimmäisen koneen modifiointivuodelle. Oletetaan, että 2/3 työstä on tuntihinnaltaan 70 €/h ja loput 100 €/h. Täten yhdistetty tuntihinta on 80 €/h.

Koulutus

Oletetaan koulutukseen osallistuvan 2 henkilöä, joiden tuntipalkka on 70 €/h, ja matkan kestävän kolme viikkoa. Tällöin työtunteja tulee 240 ja matkapäiviä 42. Arvioidaan lisäksi matkojen maksavan henkeä kohti 500 € ja päivittäisten kustannusten (asuminen, päivärahat jne.) olevan henkeä kohti 200 €. Koulutuksesta aiheutuu siten seuraavat kustannukset, jotka kohdistetaan ensimmäisen koneen modifiointivuodelle

– Palkat	240 h * 70 €/h	= 16 800 €
– Matkat	2 henkeä * 500 €/henkilö	= 1 000 €
– Muut kulut	42 päivää * 200 €/päivä	= 8 400 €
– Yhteensä		26 200 €

Suunnittelun tuki projektin aloitusvaiheessa

Oletetaan, että Suomessa tehtävä korjauksen toteutus ei poikkea paljoa valmiiksi suunnitellusta toteutuksesta ja että ostettavat suunnitelmat soveltuvat käyttöön kohtalaisen hyvin. Tällä perusteella arvioidaan suunnittelulta vaadittavaksi tuotantoa tukevaksi työmääräksi 200 tuntia. (Rinne 2005) Tämä työ oletetaan tehtävän ensimmäisen koneen modifiointivuonna tuntihinnalla 100 €/h.

Muuttuvat kustannukset 1

Korjaussarjat

Alustavien tietojen mukaan korjaussarjojen hinnan suuruusluokka konetta kohti on 6 000 USD (Keinonen 2005). Laskelmassa käytetään tätä arvoa. Korjaussarjat oletetaan hankittavan kaikkiin koneisiin toteutuksen ensimmäisenä vuonna.

Muut vaadittavat tarvikkeet

Muiden lattialevyjen vaihdossa vaadittavien tarvikkeiden hinnaksi arvioidaan 1 000 € konetta kohti (Rinne 2005). Tästä osa on vanhenevia materiaaleja. Oletetaan, että toteutusten ensimmäisenä vuotena hankitaan pääsääntöisesti kaikki vanhenematon materiaali. Näiden kustannukseksi oletetaan 500 € konetta kohti. Muu osa kustannuksista, joka käsittää vanhenevan materiaalin sekä täydennykset vanhenemattomaan materiaaliin, kohdistuu kunkin koneen korjausvuodelle.

Polttoainesäiliöiden kumipussien toimintakokeet ja korjaukset

Polttoainesäiliöiden 2 ja 3 kumipussien toimintakokeiden vaatima työmäärä säiliötä kohti on noin 22 tuntia ja tarvikkeet maksavat arviolta 100 €. Arviolta joka 10. kumipussi vaatii korjausta, jonka keskimääräiseksi kestoksi oletetaan 100 tuntia ja osien hinnaksi arvioidaan 1 000 €. (Suoranta 2005) Toimintakokeiden ja tarkastusten tuntihintana käytetään 70 €/h.

Koska polttoainesäiliön 3 pussi täytyy ottaa pois sekä lattia- että Crease Longeron -korjauksen takia, kohdistetaan siihen liittyvistä kustannuksista vain puolet lattiakorjaukselle. Täten kumipussien toimintakokeista ja korjauksista aiheutuu tähän tarkasteluun seuraavat kustannukset

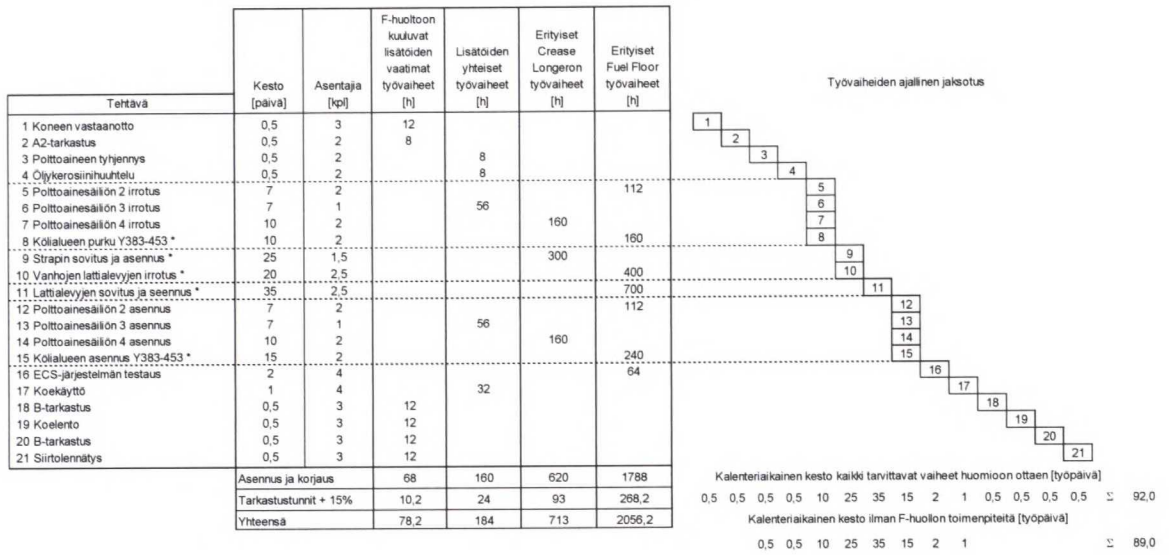
- | | | |
|--|---|-------------------------------|
| – Jokaisen koneen säiliön 2 toimintakokeesta | $22 \text{ h} * 70 \text{ €/h} + 100 \text{ €}$ | $= 1\,640 \text{ €}$ |
| – Jokaisen koneen säiliön 3 toimintakokeesta | $11 \text{ h} * 70 \text{ €/h} + 50 \text{ €}$ | $= \underline{820 \text{ €}}$ |
| – Yhteensä | | $= 2\,460 \text{ €}$ |
| – Joka 10. koneen säiliön 2 korjaamisesta | $100 \text{ h} * 70 \text{ €/h} + 1000 \text{ €}$ | $= 8\,000 \text{ €}$ |
| – Joka 20. koneen säiliön 3 korjaamisesta | $100 \text{ h} * 70 \text{ €/h} + 1000 \text{ €}$ | $= 8\,000 \text{ €}$ |

Laskennassa oletetaan säiliöiden korjaustarpeen jakautuvan siten, että toisesta seitsemänteen vuoteen tehdään vuosittain säiliön 2 korjaus. Vuosina kolme, viisi ja seitsemän tehdään sellainen säiliön 3 korjaus, jonka kustannukset kohdistetaan lattialevyjen vaihdolle.

Muuttuvat kustannukset 2

Koneen purkaminen, korjaaminen, kasaaminen ja testaaminen

Kuvassa 12 on esitetty päätyövaiheet sekä miesmäärä- ja tuntiarviot F-huollon yhteydessä tehtäville polttoainesäiliötilojen 2 ja 3 lattialevyjen vaihdoille sekä Crease Longeron -korjauksille. Kuvassa on eritelty tarvittavat F-huollon, korjausten muut yhteiset sekä korjausten erilliset työvaiheet. Tähdellä merkityt työvaiheet ovat sellaisia, joita ei ole tässä laajuudessa aikaisemmin tehty ja joihin sovelletaan oppimiskäyrää. Kuvassa esitetyt kyseisten työvaiheiden työmääräarviot ovat kymmenen ensimmäisen kerran keskiarvot, joiden arvioiminen katsottiin helpommaksi kuin esimerkiksi ensimmäisen toteutuskerran. Muista työvaiheista on kohtalaisen runsaasti kokemusta, joten niiden työmääriä pidetään tässä tarkastelussa vakiintuneina. Työvaiheisiin liittyviä tarkastustöitä ei ole eritelty, vaan niiden määrän on arvioitu olevan 15 % purku-, korjaus-, kasaus- ja testaustöistä. Kuvassa on esitetty myös työvaiheiden jaksotus sekä laskelma korjausten vaatimasta keskimääräisestä läpimenoajasta kymmenelle ensimmäiselle koneelle. Tarkastustöiden on oletettu olevan samanaikaisia muiden työvaiheiden kanssa, joten ne eivät vaikuta läpimenoaikaan.



Kuva 12. F-huollon yhteydessä tehtävien polttoainesäiliötilojen 2 ja 3 lattialevyjen (Fuel Floor) vaihdon sekä Crease Longeron -korjauksen työtunti- ja läpimenoaika-arviot. (Hirvonen 2005)

Tähdellä merkityille tehtäville käytetään 85 %:n oppimiskäyrää, jota on yleensä sovellettu tämän-tyyppisille Hornetille tehtäville töille. Lentokonetöille usein käytettävästä 80 %:n käyrästä poikkeaminen on tässä perusteltavissa muun muassa sillä, että ahtauden aiheuttamasta työn hidastumisesta ei voida koskaan päästä oppimalla eroon samalla lailla kuin helpommissa olosuhteissa tehtävissä töissä. Taulukossa 7 on esitetty oppimisen kohteena olevien lattialevyjen vaihtoon liittyvien tehtävien keskimääräiset työtunnit kunakin toteutusvuonna.

Taulukko 7. Oppimisen kohteena olevien keskimääräisten työtuntien kehitys.

Tehtävä	Tehtävän keskimääräinen kesto [h]							
	Toteutusvuosi (korjattavien koneiden lukumäärä)							
	1. (1)	2. (10)	3. (10)	4. (10)	5. (10)	6. (10)	7. (10)	8. (2)
Kölialueen purku Y383-453 *	225	150	117	105	97	92	87	85
Vanhon lattialevyjen irrotus *	562	376	293	261	242	229	218	213
Lattialevyjen sovitukset ja seennus *	984	658	512	457	424	400	382	373
Kölialueen asennus Y383-453 *	337	225	175	157	145	137	131	128
Yhteensä	2 108	1 409	1 097	980	908	858	818	799

Laskennassa otetaan huomioon seuraavat työtunnit tunti hinnalla 70 €/h kunkin koneen kustannuksina

- Puolet kuvassa 12 esitetyistä lisätöiden yhteisistä työvaiheista eli 92 h
- Kuvan 12 erityiset lattialevyjen vaihtoon liittyvät työvaiheet (polttoainesäiliön 2 irrotus ja asennus sekä ECS-järjestelmän testaus), joissa ei tapahdu enää merkittävää oppimista, lisättynä tähän työhön liittyvien tarkastusten osuudella eli (2 * 112 h + 64 h) + 15 % = 331 h
- Taulukosta 7 saatavat ja toteutusvuodesta riippuvat kölialueen puron ja kasauksen keskimääräiset työmäärät lisättynä tähän työhön liittyvien tarkastusten osuudella eli (taulukon 7 kölialueen puron ja kasauksen työtuntien summa kunakin vuonna) + 15 %
- Taulukosta 7 saatavat ja toteutusvuodesta riippuvat lattialevyjen irrotuksen, sovituksen ja asennuksen keskimääräiset työmäärät lisättynä tähän työhön liittyvien tarkastusten osuudella eli (taulukon 7 lattialevyjen irrotuksen sekä sovituksen ja asennuksen työtuntien summa kunakin vuonna) + 15 %

Oletetaan, että kumipussien rikkoutumisen todennäköisyys on yhtä suuri asennuksen, käytön ja irrotuksen aikana. Tällöin täytyy keskimäärin joka 30. kerralla poistaa pussi heti asennuksen jälkeen korjattavaksi. Tämän seurauksena yksittäisille koneille otetaan huomioon seuraavat lisäkustannukset

- Joka 30. koneelle säiliön 2 ylimääräisestä irrottamisesta ja asentamisesta

224 h * 70 €/h

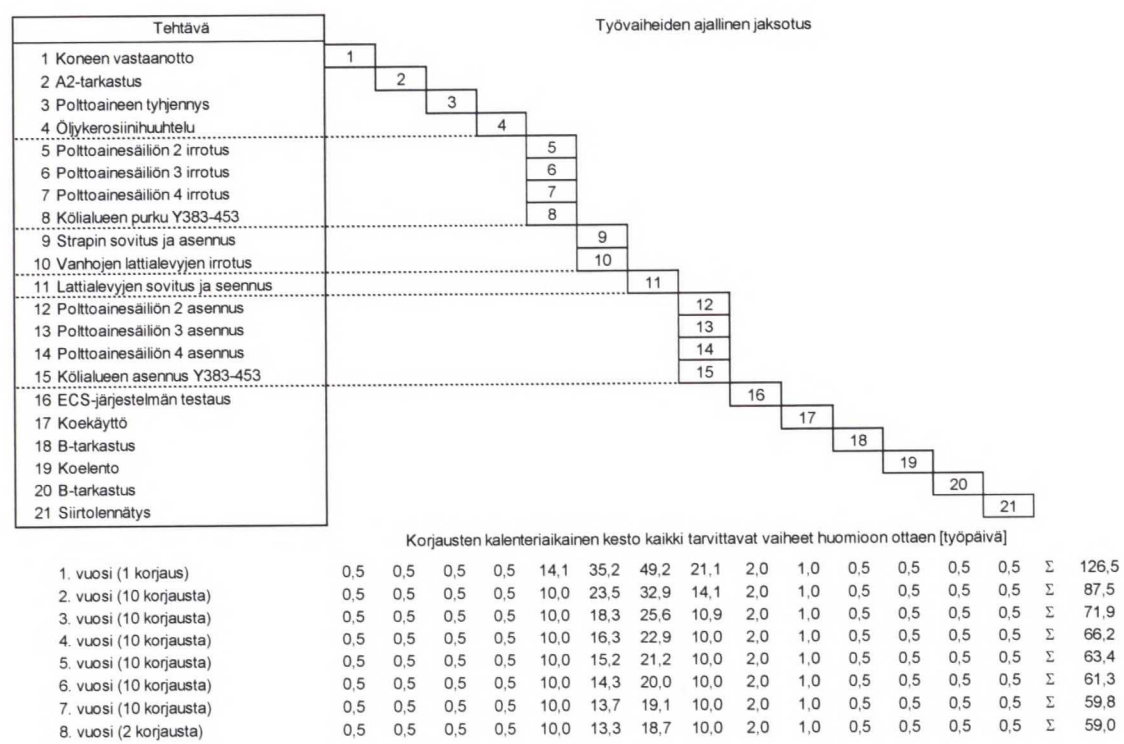
= 15 680 €
- Joka 60. koneelle säiliön 3 ylimääräisestä irrottamisesta ja asentamisesta

112 h * 70 €/h

= 7 840 €

Oletetaan, että kumipussien rikkoutuminen asennuksen yhteydessä on todennäköisempää korjaustöiden alku- kuin loppuvaiheessa. Säiliöin 2 ylimääräisistä irrottamisista ja asentamisista aiheutuvat kustannukset kohdistetaan toteutusten toiselle ja neljännelle vuodelle. Säiliön 3 vastaavat työt kohdistetaan puolestaan kolmannelle vuodelle.

Kuvassa 13 on esitetty koko korjauksen läpimenoajan vuosittainen kehittyminen toteutuksen aikana. Joissain samanaikaisesti tehtävissä toimenpiteissä merkitsevä aika määräytyy aluksi oppimisen kohteena olevan toiminnon mukaan ja vaihtuu tämän jälkeen vakiona oletetuksi pysyvän toiminnon aikaan.



Kuva 13. Lattialevyjen vaihtojen keskimääräisten läpimenoaikojen vuosittainen kehittyminen.

Suunnittelun tuki projektin aikana

Suunnittelulta konetta kohti vaadittavaksi tueksi arvioidaan 40 tuntia. Kohtalaisen suuri arvo on perusteltavissa sillä, että laajamittaisen purkamisen ja kasaamisen yhteydessä voi tulla esille myös sellaisia seikkoja, jotka eivät sinällään liity varsinaiseen korjaukseen. (Rinne 2005) Tuntihintana käytetään 100 €/h.

ERILLISEEN LATTIALEVYJEN VAIHTAMISEEN LIITTYVÄT KUSTANNUKSET

Tässä liitteessä esitetään arviot huolloista ja korjauksista erillään tehtävään lattialevyjen vaihtamiseen liittyvien kustannustekijöiden kustannuksista. Ratkaisuvaihtoehdon erot liitteessä 3 esitettyyn tapaukseen nähden ovat varsin pienet, joten tässä keskitytään lähinnä eroavaisuuksiin.

Kiinteät kustannukset

Kaikki kiinteät kustannukset ovat samat kuin liitteessä 3 esitetyt.

Muuttuvat kustannukset 1

Muuttuvista kustannuksista 1 korjaussarjojen ja muiden vaadittavien tarvikkeiden kustannukset ovat samat kuin liitteessä 3 esitetyt.

Polttoainesäiliöiden 2 ja 3 kumipussien toimintakokeille ja korjauksille kohdistetaan nyt seuraavat kustannukset

– Jokaisen koneen säiliön 2 toimintakokeesta 22 h * 70 €/h + 100 €	= 1 640 €
– Jokaisen koneen säiliön 3 toimintakokeesta 22 h * 70 €/h + 100 €	= <u>1 640 €</u>
– Yhteensä	= 3 280 €
– Joka 10. koneen säiliön 2 korjaamisesta 100 h * 70 €/h + 1000 €	= 8 000 €
– Joka 10. koneen säiliön 3 korjaamisesta 100 h * 70 €/h + 1000 €	= 8 000 €

Laskennassa oletetaan säiliöiden korjaustarpeen jakautuvan siten, että toisesta seitsemänteen vuoteen tehdään vuosittain sekä säiliön 2 että 3 korjaus.

Muuttuvat kustannukset 2

Koneen purkaminen, korjaaminen, kasaaminen ja testaaminen

Laskennassa otetaan huomioon seuraavat työtunnit kunkin koneen kustannuksina

- Kuvan 12 F-huoltoon merkityiksi liittyvistä työvaiheista 78 h

- Kuvan 12 lisätöiden yhteisistä työvaiheista 184 h
- Kuvan 12 erityiset lattialevyjen vaihtoon liittyvät työvaiheet, joissa ei tapahdu enää merkittävää oppimista, lisättynä tähän työhön liittyvien tarkastusten osuudella
- Taulukosta 7 saatavat ja toteutusvuodesta riippuvat kölialueen purun ja kasauksen keskimääräiset työmäärät lisättynä tähän työhön liittyvien tarkastusten osuudella
- Taulukosta 7 saatavat ja toteutusvuodesta riippuvat lattialevyjen irrotuksen, sovituksen ja asennuksen keskimääräiset työmäärät lisättynä tähän työhön liittyvien tarkastusten osuudella

Lisäksi yksittäisille koneille otetaan huomioon seuraavat lisäkustannukset

- Joka 30. koneelle säiliön 2 ylimääräisestä irrottamisesta ja asentamisesta

224 h * 70 €/h

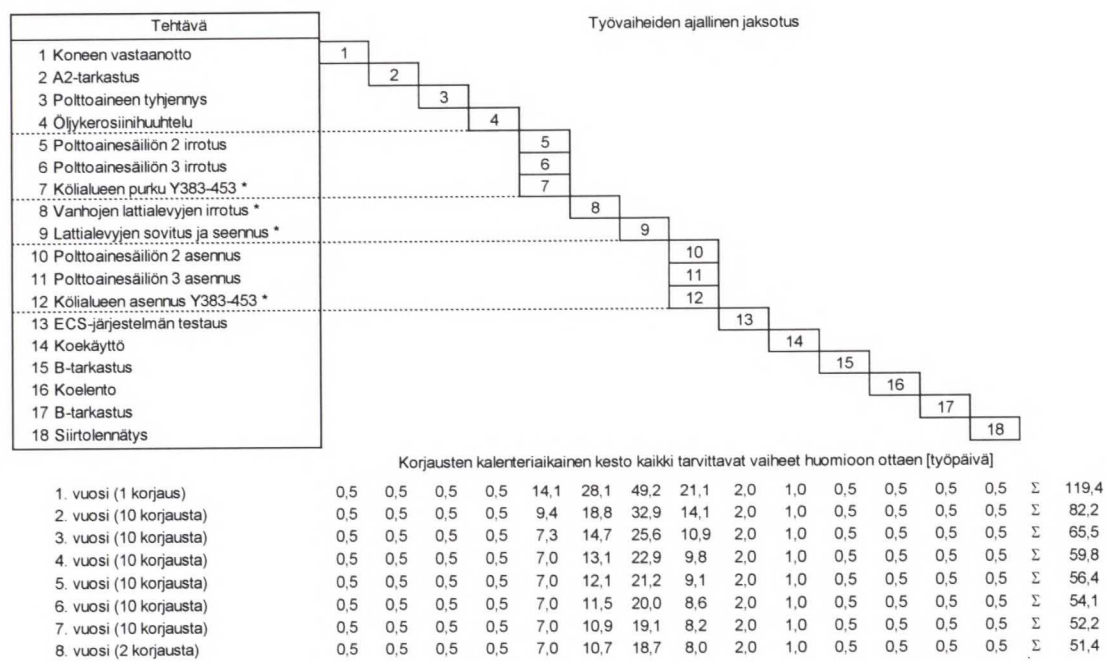
= 15 680 €
- Joka 30. koneelle säiliön 3 ylimääräisestä irrottamisesta ja asentamisesta

112 h * 70 €/h

= 7 840 €

Säiliöin 2 ylimääräisistä irrottamisista ja asentamisista aiheutuvat kustannukset kohdistetaan toiselle ja neljännelle vuodelle. Säiliön 3 vastaavat työt kohdistetaan puolestaan kolmannelle ja viidennelle vuodelle.

Kuvassa 14 on esitetty erillisen lattialevyjen vaihtamisen läpimenoajan vuosittainen kehittyminen toteutuksen aikana.



Kuva 14. Erikseen tehtyjen lattialevyjen vaihtojen läpimenoaikojen vuosittainen kehittyminen.

Suunnittelun antamasta tuesta projektin aikana aiheutuvat kustannukset ovat samat kuin liitteessä 3 esitetyt.

LATTIALEVYJEN TARKASTUKSIIN LIITTYVÄT KUSTANNUKSET

Tässä liitteessä esitetään arviot lattialevyjen NDT-tarkastuksiin liittyvien kustannustekijöiden kustannuksista. Ratkaisuvaihtoehdolla on paljon yhtymäkohtia liitteiden 3 ja 4 tapauksiin, joten tässä keskitytään lähinnä eroavaisuuksiin.

Kiinteät kustannukset

Projektin valmistelu, työnsuunnittelu ja johto

Tarkastusten edellyttämä työ on aikaisempiin vaihtoehtoihin verrattuna muuten vastaava, mutta nyt ei tarvita varsinaiseen korjaukseen valmistautumista, jonka on oletettu muodostavan merkittävän osan työstä. Mikäli laadittavat työvaiheluettelot ovat kohtalaisen pelkistettyjä, arvioidaan tarvittavaksi työmääräksi 150 tuntia (Rinne 2005). Näiden kustannusten voidaan olettaa kohdistuvan ensimmäisen koneen modifiointivuodelle. Yhdistetyksi tuntiinnaksi oletetaan 80 €/h.

Kapasiteetin kasvattaminen

Kapasiteetin kasvattamisesta aiheutuville kustannuksille ei tässä anneta arvoa, vaan kustannustekijä jätetään muuttujaksi. Mikäli tarkasteltava ratkaisuvaihtoehto osoittautuu muita edullisemmaksi, palataan näihin kustannuksiin ja arvioidaan, riittääkö ratkaisuvaihtoehtojen elinkaarikustannusten erotus kattamaan ne.

Suunnittelun tuki projektin aloitusvaiheessa

Suunnittelulta vaadittavaksi tuotantoa tukevaksi työmääräksi arvioidaan 40 tuntia (Rinne 2005). Tuntihintana käytetään suunnittelun hintaa 100 €/h ja työ oletetaan tehtävän ensimmäisen koneen modifiointivuonna.

Muuttuvat kustannukset 1

Polttoainesäiliöiden kumipussien toimintakokeet ja korjaukset

Polttoainesäiliöiden 2 ja 3 kumipussien toimintakokeista ja tarkastuksista aiheutuvat kustannukset oletetaan samoiksi kuin liitteessä 4. Korjaustarpeen oletetaan kohdistuvan tasaisesti joka 10. koneeseen.

Kapasiteetin kasvattaminen

Kiinteiden kustannusten yhteydessä todetut seikat pätevät myös kapasiteetin kasvattamisesta aiheutuviin muuttuviin kustannuksiin.

Osien kuluminen ja vaurioitumisriski purkamisten ja kasaamisten seurauksena

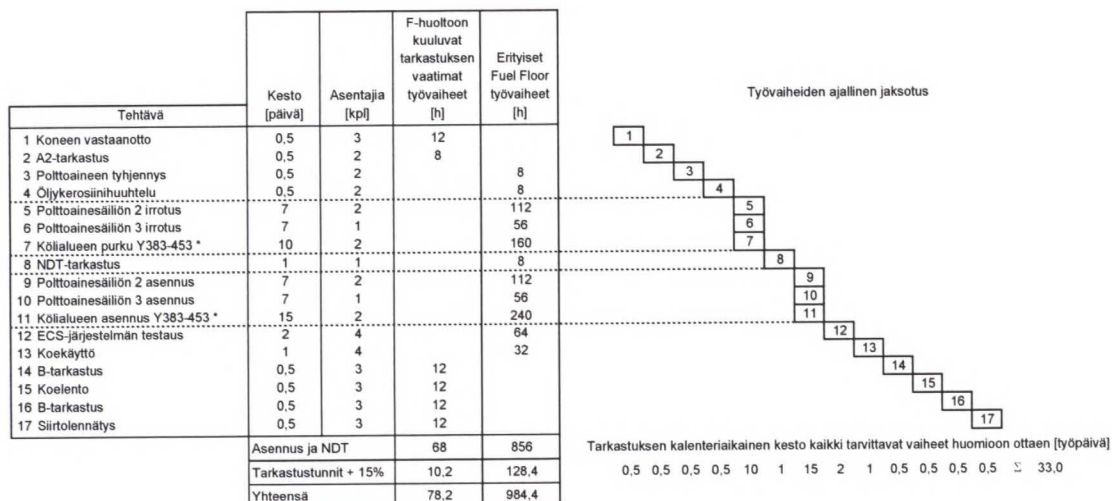
Osien kulumisesta ja vaurioitumisesta lukuisten purkamisten ja kasaamisten seurauksena aiheutuvien kustannusten suuruutta on vaikea arvioida. Tämä johtuu siitä, että mahdollisia osia on paljon ja niiden korjaamisen tai uusimisen kustannushaarukka on suuri.

Myöskään tälle kustannustekijälle ei anneta arvoa, vaan se jätetään muuttujaksi, johon voidaan tarpeen vaatiessa palata.

Muuttuvat kustannukset 2

Koneen purkaminen, tarkastaminen, kasaaminen ja testaaminen

Kuvassa 15 on esitetty päätyövaiheet sekä miesmäärä- ja tuntiarviot F-huollon yhteydessä tehtäville polttoainesäiliötilojen 2 ja 3 lattialevyjen NDT-tarkastuksille. Kuvassa on eritelty F-huollon ja tarkastuksen edellyttämät muut työvaiheet. Myös nyt tähdellä merkittyjen työvaiheiden, joihin sovelletaan oppimiskäyrää, työmääräarviot ovat kymmenen ensimmäisen kerran keskiarvot. Muiden työvaiheiden työmääriä pidetään tässä tarkastelussa vakiintuneina. Tarkastustöitä on arvioitu olevan 15 % purku-, korjaus-, kasaus- ja testaustöistä. Kuvassa on esitetty myös työvaiheiden jaksoitus sekä laskelma NDT-tarkastusten vaatimasta keskimääräisestä läpimenoajasta kymmenelle ensimmäiselle koneelle.



Kuva 15. F-huollon yhteydessä tehtävien polttoainesäiliötilojen 2 ja 3 lattialevyjen (Fuel Floor) NDT-tarkastusten työtunti- ja läpimenoaika-arviot. (Hirvonen 2005)

Taulukossa 8 on esitetty oppimisen kohteena olevien lattialevyjen NDT-tarkastuksiin liittyvien tehtävien keskimääräiset työtunnit. Kuuden vuoden ja 93 tarkastuksen jälkeen työtuntien oletetaan pysyvän riittävällä tarkkuudella vakioina.

Taulukko 8. Oppimisen kohteena olevien keskimääräisten työtuntien kehitys.

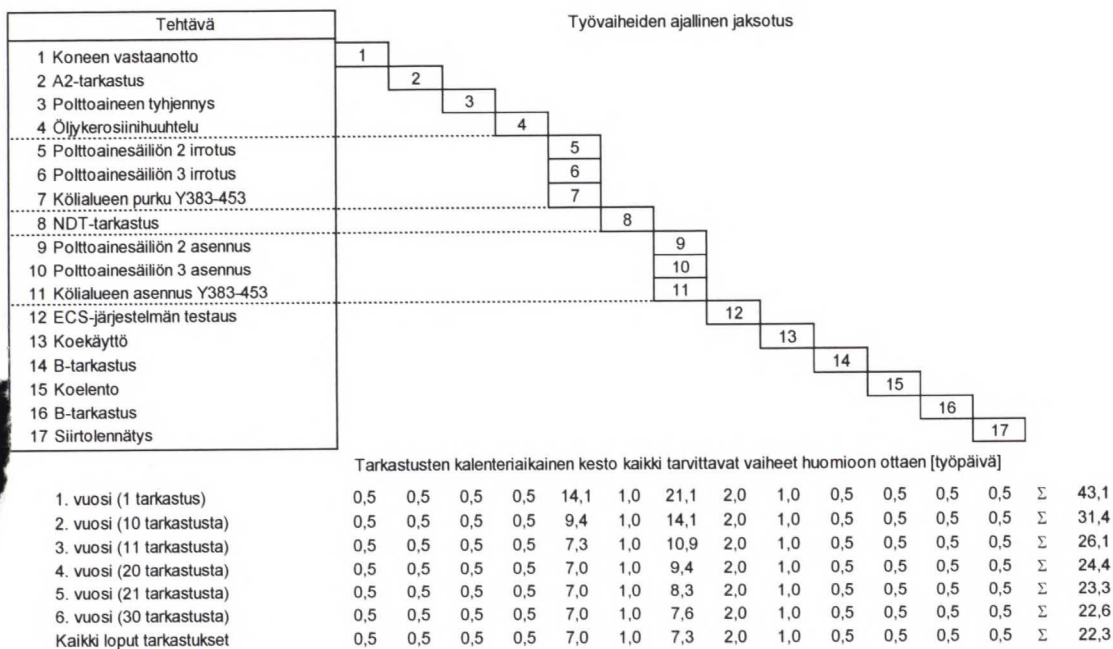
Tehtävä	Tehtävän keskimääräinen kesto [h]						
	Toteutusvuosi (tarkastettavien koneiden lukumäärä)						
	1. (1)	2. (10)	3. (11)	4. (20)	5. (21)	6. (30)	Loput
Kölialueen purku Y383-453 *	225	150	116	100	89	81	78
Kölialueen asennus Y383-453 *	337	225	174	150	133	121	116
Yhteensä	562	375	290	250	222	202	194

Laskennassa otetaan huomioon seuraavat työtunnit kunkin koneen kustannuksina

- Kuvan 15 erityiset lattialevyjen vaihtoon liittyvät työvaiheet, joissa ei tapahdu enää merkittävää oppimista, lisättynä tähän työhön liittyvien tarkastusten osuudella eli 456 h + 15 %
- Taulukosta 8 saatavat ja toteutusvuodesta riippuvat kölialueen purun ja kasauksen keskimääräiset työmäärät lisättynä tähän työhön liittyvien tarkastusten osuudella eli (taulukon 8 työtuntien summa kunakin vuonna) + 15 %

Lisäksi yksittäisille koneille otetaan huomioon vastaavat lisäkustannukset polttoainesäiliöiden 2 ja 3 kumipussien ylimääräisistä irrottamisista ja asentamisista kuin liitteessä 4. Molempien säiliön lisäkustannukset kohdistetaan neljännessä tarkastusvuodesta lähtien jokaiselle vuodelle.

Kuvassa 16 on esitetty koko tarkastuksen läpimenoajan vuosittainen kehittyminen toteutuksen aikana.



Kuva 16. Tarkastusten läpimenoaikojen vuosittainen kehittyminen.

Suunnittelun tuki projektin aikana

Suunnittelulta konetta kohti vaadittavaksi tueksi arvioidaan 20 tuntia. Työ koostuu lukuisten purkamisen ja kasaamisen yhteydessä esille tulevista osien kulumisen ja rikkoutumisten käsittelyistä. (Rinne 2005)